

**T.C.  
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİFLEVHA ÜRETİMİNDE LİFLENDİRME ENERJİSİNİN  
DÜŞÜRÜLMESİ**

**Gökhan BAŞARIR**

<b>Danışman</b>	<b>Prof. Dr. Saim ATEŞ</b>
<b>Jüri Üyesi</b>	<b>Prof. Dr. Mustafa USTA</b>
<b>Jüri Üyesi</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Mahmut GÜR</b>

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KASTAMONU - 2018**

## TEZ ONAYI

**Gökhan BAŞARIR** tarafından hazırlanan “**Liflevha Üretiminde Liflendirme Enerjisinin Düşürülmesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Saim ATEŞ  
Kastamonu Üniversitesi



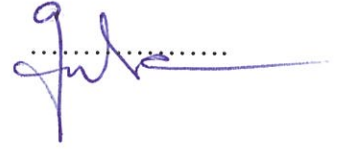
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa USTA  
Karadeniz Teknik Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut GÜR  
Kastamonu Üniversitesi



28/06/2018

Enstitü Müdür V. Doç. Dr. Mehmet Altan KURNAZ



## TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Gökhan BAŞARIR



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LİFLEVHA ÜRETİMİNDE LİFLENDİRME ENERJİSİNİN DÜŞÜRÜLMESİ

Gökhan BAŞARIR  
Kastamonu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Saim ATEŞ

Günümüzde orta yoğunlukta liflevha (Medium Density Fiberboard-LİFLEVHA) üretim tesislerinde odun yongalarını liflendirmek için termomekanik hamur metodu kullanılmaktadır. Bu yöntemde yongalar buharla ön işleme uğratıldıktan sonra mekanik olarak liflendirilmektedir. Liflendirme rafinörlerinde 1 ton kuru lif üretimi için 80-120 kwh civarında elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Türkiye'deki liflevha üretim tesislerinde tüketilen liflendirme enerjisi yılda yaklaşık 280.000 Mwh, dünyada 4.270.000 Mwh civarındadır. Son zamanlarda bu enerji kullanımını düşürmeye yönelik çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Özellikle buhar ön işlemine ilaveten, farklı kimyasalların kullanılmasıyla liflendirmeyi kolaylaştırıcı yöntemler üzerinde çalışılmış ve bu konuda patentler alınmıştır. Küresel rekabet dolayısıyla endüstriyel uygulamalar ve çıktıları noktasında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Literatür araştırmalarına göre okzalik asit, hidrojen peroksit, sodyum hidroksit vb. kimyasallar kullanılmış ve belirli oranlarda enerji tasarruf değerleri elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye'de liflevha endüstrisinde en çok kullanılan ibreli ve yapraklı ağaç türlerimizden kayın (*Fagus orientalis*) ve çam (*Pinus brutia*) odunu yongaları endüstri uygulamalarına paralel olarak farklı karışım oranlarında karıştırılarak, üç farklı kimyasalla ve kuru oduna %0.1 - %0.2 - %0.3 oranlarında (oksalik asit, hidrojen peroksit ve sülfamik asit) ön işleme tabi tutulmuştur. Bunların enerji tüketimine etkilerinin yanında, lif morfolojileri ve bu liflerden elde edilen liflevhaların bazı fiziksel ve mekanik değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Odun yongalarının liflendirilmesi esnasında rafinörde tüketilen elektrik enerjileri ölçülmüş, kayın odunu liflendirme enerjisi üzerine ön kimyasal işlemin önemli bir etkisi görülmezken, çam (*Pinus brutia*) odunu yongalarının liflendirilmesinde %13'e varan oranlarda elektrik enerjisi düşüşü sağlanmıştır. Elde edilen levhaların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri açısından değerlendirildiğinde istatistiksel olarak kimyasal ön işlemin levhalar üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** LİFLEVHA, TMP (Termomekanik hamur), enerji tasarrufu, okzalik asit, sülfamik asit, hidrojen peroksit.

**2018, 98 Sayfa**  
**Bilim Kodu: 1204**

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### REDUCING DEFIBRATION ELECTRICITY POWER ON FİBERBOARD PRODUCTION

Gökhan BAŞARIR

Kastamonu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Forestry Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Saim ATES

Nowadays, Thermo mechanical defibration method is widely used by medium density fiberboard industry to get fiber from wood chips. In this method, chips are fiberized mechanically after the defeat of steam pretreatment. In spite of electricity is very high that used in the refiner in order to fiberized wood chips. It is consumed average 80-120 kw electricity in order to 1 ton dry wood fiber on fiberboard production plant. It reaches the total value of around 280 000 MW per year in Turkey, world is around 4.27 million MW. In recent times, there have been increased efforts to reduce this energy consumption. In particular, in addition to the steam pre-treatment, efforts have been made to make fiberizing easier by using different chemicals and various patents have been bought. Due to the global competitiveness, there is not enough data on industrial practices and the results of these. According to literary research, oxalic acid, hydrogen peroxide, sodium hydroxide etc. have been used in pre-treatment which have resulted in a degree of energy saving.

Within this study, it is seen that in Turkey the chips of the most widely used *Fagus orientalis* and *Pinus brutia* are mixed in different ratios and using 3 different chemicals at rates of %0.1 - %0.2 - %0.3 (oxalic acid, hydrogen peroxide, sodium hydroxide) as a pre-treatment. As well as the effect these have on energy consumption, the morphology of the fibres and some physical and mechanical values of the fibreboard that is produced from them have been examined. The electrical energy used by refineries whilst defibrating has been measured; whilst the use of beech wood had no effect on the energy used for defibration, the use of pine wood chips in producing fibres resulted in a 13% decrease in electricity consumption. When assessing certain physical and mechanical properties of the fibreboard obtained in this way, statistically there is no negative impact.

**Keywords:** FİBERBOARD, TMP (Thermomechanical pulping), energy savings, oxalic acid, sulfamic acid, hydrogen peroxide

**2018, 98 pages**

**Science code: 1204**

## TEŞEKKÜR

“Liflevha Üretiminde Liflendirme Enerjisinin Düşürülmesi” adlı bu çalışma Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Ürünleri Kimyası Ana Bilim Dalı Programı’nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Araştırma konusunun seçiminden, San-Tez projemizin hazırlanmasıyla devam eden meşakkatli yolda, gerek bilimsel uyarıları, gerekse doğru yönlendirmeleriyle sonuca ulaşmamızdaki büyük katkılarından dolayı değerli hocam Sayın Prof. Dr. Saim ATEŞ’ e minnet ve şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Yüksek lisans tezimi ve bu tezin San-Tez projesi olarak yürütülmesini destekleyip, onaylayan Hayat Holding Ağaç Grubu Başkanı Sayın Haluk YILDIZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı destekleyen, bilgi birikimini esirgemeyerek yaptığımız tüm çalışmalarda yüreklendiren Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. Kastamonu&Samsun Fabrikalar Direktörü Sayın Enüs KOÇ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı destekleyen Çamsan Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Sayın Refik Suat KILIÇ, danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa USTA ve Teknik Genel Müdür Yardımcısı Sayın Metinay TOPKAYA’ya teşekkürlerimi sunarım.

Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. Kastamonu LİFLEVHA tesisi eski çalışanı Sayın Dr. Osman ÇAMLİBEL’e tezim boyunca yaptığı tüm yardımlardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. Kastamonu LİFLEVHA tesisi çalışanlarından yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarım Makine Müh. Ercan ÖZER, Kimyager Uğur ÇELİK, Ağaç İşleri End. Müh. Okan YİĞİT, Orm. End. Müh. Mehmet BECENE, Yük. Orm.End. Müh. Aziz BİÇER, Reçine ve Formaldehit üretim uzmanı Ahmet ÇELİK ve deney çalışmalarımızdaki büyük desteğinden dolayı Mahir TÜRKMEN’ e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca her türlü konuda desteğini esirgemeyen eşim Hacer BAŞARIR ve varlığıyla hayatımıza renk katan kızım Ela BAŞARIR’ a tezimi ithaf etmekten büyük memnuniyet duyarım.

Bu tez çalışması, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Kastamonu Üniversitesi ve Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. arasında San-Tez 0351.STZ.2013-2 projesiyle desteklenmiştir.

Gökhan BAŞARIR  
Kastamonu, Mayıs 2018

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	4
3. GENEL KISIMLAR .....	8
3.1. Odunun Kimyasal Bileşenleri ve Hücre Çeperi Tabakaları .....	8
3.1.1. Hücre Çeperi Tabakaları.....	8
3.1.1.1. <i>Orta Lamel</i> .....	10
3.1.1.2. <i>Primer Çeper</i> .....	11
3.1.1.3. <i>Sekonder Çeper</i> .....	11
3.1.2. Hücre Çeperinin Ana Kimyasal Bileşenleri .....	12
3.2. Lif Üretim Yöntemleri.....	21
3.2.1. Kimyasal Yöntem .....	21
3.2.2. Yarı Kimyasal Yöntem.....	22
3.2.3. Mekanik Yöntem .....	22
3.3. Liflendiricide Enerji Tüketiminin Azaltılması.....	23
3.3.1. Isıl Ön İşlem .....	23
3.3.2. Kimyasal Ön İşlem .....	23
3.3.3. Biyolojik Ön İşlem .....	27
3.3.4. Aşamalı İşlem .....	29
4. MATERYAL VE YÖNTEM .....	30
4.1. Materyal.....	30
4.1.1. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) .....	30
4.1.2. Doğu Kayını ( <i>Fagus Orientalis</i> ).....	31
4.1.3. Liflendirme Ünitesi.....	31

4.1.3.1. Laboratuvar tipi buhar jeneratörü .....	31
4.1.3.2. Laboratuvar tipi ön işlem ünitesi.....	32
4.1.3.3. Laboratuvar tipi liflendirme rafinörü.....	32
4.1.3.4. Laboratuvar tipi tutkallama mikseri .....	33
4.1.3.5. Laboratuvar tipi hidrolik pres .....	34
4.1.4. Okzalik asit .....	34
4.1.5. Sülfamik asit .....	34
4.1.6. Hidrojen peroksit .....	35
4.1.7. Demir sülfat .....	35
4.1.8. Üre Formaldehit Reçinesi .....	35
4.1.9. Amonyum Klorür.....	36
4.1.10. Parafin Emülsiyonu .....	36
4.2. Metot .....	37
4.2.1. Odun Yongalarının Hazırlanması.....	37
4.2.2. Deneme Planı.....	38
4.2.3. Liflendirme .....	39
4.2.4. Tutkallama .....	40
4.2.5. Deney levhalarının oluşturulması.....	40
4.2.6. Levha testlerinin yapılması.....	41
4.2.6.1. Yoğunluk tayini .....	41
4.2.6.2. Rutubet tayini.....	42
4.2.6.3. Kalınlığına şişme miktarı.....	42
4.2.6.4. Su alma miktarı.....	43
4.2.6.5. Eğilme direnci.....	43
4.2.6.6. Eğilmede elastikiyet modülü .....	44
4.2.6.7. Yüzeye dik çekme direnci .....	44
4.2.6.8. Yüzey dayanıklılığı.....	45
4.2.6.9. İstatiksel değerlendirme.....	45
5. BULGULAR.....	46
5.1. Kimyasal Ön İşlem Sonrası Yongalara Ait Bulgular .....	46
5.1.1. Kimyasal İle Ön Muamele İşlemi Uygulanmamış Odun Yongalarının Mikroskopik Görüntüsü .....	47

5.1.2. Okzalik Asit İle Ön Muamele İşlemi Sonrası Odun Yongalarının Mikroskopik Görüntüsü .....	49
5.1.3. Sülfamik Asit İle Ön Muamele İşlemi Sonrası Odun Yongalarının Mikroskopik Görüntüsü .....	51
5.1.4. Hidrojen Peroksit+Demir Sülfat İle Ön Muamele İşlemi Sonrası Odun Yongalarının Mikroskopik Görüntüsü .....	53
5.2. Liflendirme Enerjisi Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulgular .....	55
5.3. Lif Boyutları Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulgular .....	56
5.4. Bazı Fiziksel ve Kimyasal Direnç Değerleri Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulgular .....	58
6. TARTIŞMA .....	59
6.1. Kimyasal Ön İşlem Sonrası Yongalara Ait Bulguların Tartışılması .....	59
6.2. Liflendirme Enerjisi Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulguların Tartışılması .....	60
6.2.1. Okzalik Asidin Liflendirme Enerjisi Tüketimine Etkisi .....	60
6.2.2. Sülfamik Asidin Liflendirme Enerjisi Tüketimine Etkisi .....	63
6.2.3. Hidrojen Peroksit+Demir Sülfat'ın Liflendirme Enerjisi Tüketimine Etkisi .....	64
6.3. Lif Boyutları Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulguların Tartışılması .....	68
6.4. Bazı Fiziksel ve Kimyasal Direnç Değerleri Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulguların Tartışılması .....	69
6.4.1. Kalınlığına Şişme Miktarı .....	69
6.4.2. Su Alma Miktarı .....	73
6.4.3. Eğilme Direnci .....	75
6.4.4. Eğilmede Elastikiyet Modülü .....	78
6.4.5. Yüzeye Dik Çekme Direnci .....	82
6.4.6. Yüzey Sağlamlığı .....	85
7. SONUÇ .....	89
8. ÖNERİLER .....	91
KAYNAKLAR .....	92
ÖZGEÇMİŞ .....	97

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
Acetyl	Asetil grubu
Araf	Arabinofuranoz
C	Karbon Atomu
°C	Santigrat Derece
DP	Polimerizasyon Derecesi
F	Hesap
Galp	Galaktopiranoz
GlcP	Glukopiranoz
kg	Kilogram
kcal	Kilokalori
kg/m <sup>3</sup>	Kilogram/metreküp
kg/m <sup>2</sup>	Kilogram/metrekare
kwh	Kilowatsaat
m <sup>3</sup>	Metreküp
Manp	Mannopiranoz
mwh	Megawatsaat
LİFLEVHA	liflevha
mm	Milimetre
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
Ph	Asitlik veya bazlık derecesi
Pk <sub>a</sub>	Asit ayrışma sabitinin (-) logaritması
S1	Hücre çeperi tabakası
S2	Hücre çeperi tabakası
S3	Hücre çeperi tabakası
TMP	Termomekanik hamur yöntemi
Xylp	Ksilopiranoz
β	Beta
α	Alfa
H <sup>+</sup>	Hidrojen iyonu
HO•	Hidroksil radikali
Fe <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Demir üç iyonu
Fe <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Demir iki iyonu
H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Okzalik asit
H <sub>3</sub> NO <sub>3</sub> S	Sülfamik asit
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen Peroksit
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Demir Sülfat
OH	Hidroksil iyonu
•O <sub>2</sub>	Süperoksit radikali
R•	Radikal
NH <sub>4</sub> Cl	Amonyum Klorür
N	Newton
N/mm <sup>2</sup>	Newton/milimetrekare

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Selülozun kristalin ve amorf zonları.....	9
Şekil 3.2. Odunun yapısı.....	10
Şekil 3.3. Hücre Çeperinin Yapısı.....	10
Şekil 3.4. Odunun Kimyasal Bileşenleri.....	13
Şekil 3.5. İğne yapraklı odun hücre çeperinde bulunan ana kimyasal bileşenlerin ortalama dağılımı.....	13
Şekil 3.6. $\beta$ -D-Glukoz formu.....	14
Şekil 3.7. Selülozun Stereo Kimyasal Formülü.....	15
Şekil 3.8. İbrelî ağaç galaktoglukomannanlarının (mannan) ana yapısı.....	15
Şekil 3.9. İbrelî ağaç arabinoglukuronoksilan (ksilan) ana yapısı.....	16
Şekil 3.10. Sert ağaç glukuronoksilan (ksilan) ana yapısı.....	16
Şekil 3.11. Sert ağaç glukumannan (mannan) ana yapısı.....	17
Şekil 3.12. Ligninin yapı taşları.....	19
Şekil 3.13. Lignin Molekülünde En Sık Rastlanan Bağ Tiplerinin Gösterildiği Dilignoller.....	19
Şekil 3.14. Hücre Çeperi Bileşenlerinin Modelleri.....	21
Şekil 3.15. Hücre çeperi ara tabakalardaki bağlar.....	21
Şekil 3.16. Beyaz çürüklük mantarının tahrip ettiği yongaların elektron mikroskopu görüntüsü.....	28
Şekil 4.1. Laboratuvar tipi buhar jeneratörü.....	32
Şekil 4.2. Laboratuvar tipi ön işlem ünitesi.....	32
Şekil 4.3. Laboratuvar tipi liflendirme rafinörü.....	32
Şekil 4.4. Cemil usta marka tutkallama mikseri.....	32
Şekil 4.5. Laboratuvar tipi hidrolik pres.....	34
Şekil 4.6. Tambur tipi yongalayıcı.....	37
Şekil 4.7. Kızılçam (sağ tarafta) ve Doğu kayını (sol tarafta) yonga örnekleri..	37
Şekil 4.8. Laboratuvar tipi liflendirme rafinöründe üretilen lifler.....	39
Şekil 4.9. Presleme işlemi için elle serme işlemi yapılarak oluşturulmuş lif taslağı.....	40
Şekil 4.10. Presleme işlemi neticesinde elde edilen tüm deneme levhaları.....	41
Şekil 5.1. Doğu Kayını ( <i>Fagus orientalis</i> ) odununa ait mikroskop görüntüleri.	48
Şekil 5.2. Doğu Kayını ( <i>Fagus Orientalis</i> ) odununa ait buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri.....	48
Şekil 5.3. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) odununa ait mikroskop görüntüleri.....	49
Şekil 5.4. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) odununa ait buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri.....	49
Şekil 5.5. Doğu Kayını ( <i>Fagus Orientalis</i> ) odununa ait %0,1 okzalik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri.....	50
Şekil 5.6. Doğu Kayını ( <i>Fagus Orientalis</i> ) odununa ait %0,3 okzalik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri.....	50

Şekil 5.7. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) odununa ait %0,1 okzalik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	51
Şekil 5.8. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) odununa ait %0,3 okzalik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	51
Şekil 5.9. Doğu Kayını ( <i>Fagus Orientalis</i> ) odununa ait %0,1 sülfamik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	52
Şekil 5.10. Doğu Kayını ( <i>Fagus Orientalis</i> ) odununa ait %0,3 sülfamik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	52
Şekil 5.11. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) odununa ait %0,1 sülfamik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	53
Şekil 5.12. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) odununa ait %0,3 sülfamik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	53
Şekil 5.13. Doğu Kayını ( <i>Fagus Orientalis</i> ) odununa ait %0,1 hidrojen peroksit + demir sülfat uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	54
Şekil 5.14. Doğu Kayını ( <i>Fagus Orientalis</i> ) odununa ait %0,3 hidrojen peroksit + demir sülfat uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	54
Şekil 5.15. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) odununa ait %0,1 sülfamik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	55
Şekil 5.16. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> ) odununa ait %0,3 sülfamik asit uygulaması yapılmış ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri .....	55
Şekil 5.17. Lif boyutlarına ait grafik .....	57
Şekil 6.1. Kızılçam odununda okzalik asit kullanımının enerjisi tüketimine etkisi .....	61
Şekil 6.2. Kayın odununda okzalik asit kullanımının enerjisi tüketimine etkisi.. .....	61
Şekil 6.3. %70 kayın+ %30 çam odununda kimyasal madde oranının enerji tüketimine etkisi .....	62
Şekil 6.4. %70 kayın+ %30 çam odununda sülfamik asit kullanımı .....	64
Şekil 6.5. %70 kayın+ %30 çam odununda hidrojen peroksit+demir sülfat kullanımı .....	64
Şekil 6.6. Kayın ve Çam yongasında okzalik asitin kalınlığına şişme miktarına etkisi .....	73
Şekil 6.7. %70 kayın+ %30 çam odununda kimyasal madde oranının su alma miktarına etkisi .....	75
Şekil 6.8. Kayın ve Çam yongasında okzalik asit kullanımının eğilme direncine etkisi.....	77
Şekil 6.9. Kayın ve Çam yongasında okzalik asit kullanımının eğilmede elastikiyet modülüne etkisi .....	80
Şekil 6.10. Kayın ve Çam yongasında okzalik asitin yapışma direncine etkisi..	83

Şekil 6.11. Kayın ve Çam yongasında okzalik asitin yüzey sağlamlığına etkisi.. .....	88
--	----

## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3.1. Yapraklı ağaç ve sert ağaçlarda bulunan önemli hemiselüloz bileşenleri .....	18
Tablo 3.2. Bazı odunların hücre çeperi kimyasal bileşenlerinin miktarları .....	20
Tablo 3.3. Bazı mantar türlerinin odunun kimyasal bileşenlerinde meydana getirdiği tahribat miktarları .....	28
Tablo 4.1. Üre formaldehit reçinesinin özellikleri .....	35
Tablo 4.2. Sertleştiricinin (Amonyum Klorür) özellikleri .....	36
Tablo 4.3. Parafin emülsiyonunun özellikleri .....	36
Tablo 4.4. Laboratuvar deneylerinde uygulanacak deneme düzeni .....	38
Tablo 5.1. Mikroskopik görüntüler için örnek hazırlama düzeni .....	47
Tablo 5.2. Liflendirme enerjisi tüketimleri .....	56
Tablo 5.3. Levhalara ait bazı fiziksel ve mekanik test değerleri .....	58
Tablo 6.1. Kimyasal oranının liflendirme enerjisi tüketimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları .....	65
Tablo 6.2. Kimyasal oranına ait Duncan testi .....	65
Tablo 6.3. Kimyasal türünün liflendirme enerjisi tüketimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları .....	66
Tablo 6.4. Kimyasal türüne ait Duncan testi .....	66
Tablo 6.5. Odun türünün liflendirme enerjisi tüketimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları .....	67
Tablo 6.6. Odun türüne ait Duncan testi .....	67
Tablo 6.7. Ön muamele sıcaklığının liflendirme enerjisi tüketimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları .....	68
Tablo 6.8. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın kalınlığına şişme miktarına etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları .....	70
Tablo 6.9. Kalınlığına şişme miktarı sonuçlarına ait Duncan testi .....	71
Tablo 6.10. Kalınlığına şişme miktarı sonuçlarına ait Duncan testi .....	72
Tablo 6.11. Kalınlığına şişme miktarı sonuçlarına ait Duncan testi .....	72
Tablo 6.12. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın su alma miktarına etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları .....	74
Tablo 6.13. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın eğilme direncine etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları .....	76
Tablo 6.14. Eğilme direnci sonuçlarına ait Duncan testi .....	77
Tablo 6.15. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın eğilmede elastikiyet modülüne etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları .....	79
Tablo 6.16. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait Duncan testi .....	80
Tablo 6.17. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait Duncan testi .....	81
Tablo 6.18. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın yüzeye dik çekme direncine etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları .....	82

Tablo 6.19. Yüzeye dik çekme direnci sonuçlarına ait Duncan testi .....	83
Tablo 6.20. Yüzeye dik çekme direnci sonuçlarına ait Duncan testi .....	84
Tablo 6.21. Yüzeye dik çekme direnci sonuçlarına ait Duncan testi .....	85
Tablo 6.22. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın yüzey sağlamlığına etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları .....	86
Tablo 6.23. Yüzey sağlamlığı sonuçlarına ait Duncan testi.....	87
Tablo 6.24. Yüzey sağlamlığı sonuçlarına ait Duncan testi.....	87

## 1.GİRİŞ

Günümüzde liflevha üretim tesislerinde odun yongalarını liflendirmek için termomekanik hamur metodu kullanılmakta ve 1931 yılında yöntemi bulan İsveçli mühendisin (Arne Asplund) ismiyle anılmaktadır. Bu yöntemin (Asplund Defibratör) ana ilkesi, odunun kimyasal olarak yaklaşık %20–30'unu oluşturan, odunsu hücrelerin orta lamelini bağlayan ligninin ve polisakkaritlerin 170–200°C sıcaklık ve 7,5–9 bar buhar basıncı altında yumuşatılıp eriyik hale getirilerek, yongaların basınç altında defibratör adı verilen diskli rafinörde mekanik ovma hareketi ile liflendirilmesidir. Yöntem kısa sürede dünya geneline yayılmış ve liflevha üretiminde halen en yaygın olarak kullanılan yöntemidir. Lignin ve diğer maddeleri uzaklaştırmak için kimyasal madde ilavesi yapılmadığından termomekanik hamur yönteminde liflendirme amacıyla rafinörde kullanılan elektrik enerjisi oldukça yüksektir.

Türkiye’de liflevha üretim kapasitesi 6 milyon m<sup>3</sup>/yıl olup, yaklaşık %20’si Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. firmasına aittir. Kastamonu Entegre Ağaç San ve Tic. A.Ş. firmasının yurt içinde sahip olduğu liflevha fabrikalarındaki liflendirme rafinörlerinin elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık olarak yılda 70 000 Mwh’dır. Türkiye’de faaliyette bulunan liflevha üretim tesislerinin tamamındaki liflendirme rafinörlerinin elektrik enerjisi tüketimlerinin yaklaşık olarak yılda 280 000 Mwh olduğu hesaba katılacak olursa, bu değer Türkiye’nin levha sektöründeki tüketiminin %25’ine, yıllık toplam enerji tüketiminin ise yaklaşık olarak % 0.15’ine tekabül etmektedir. Dünya geneline baktığımızda ise; Avrupa’da 20 milyon m<sup>3</sup>/yıl, Amerika kıtasında 12 milyon m<sup>3</sup>/yıl ve Asya kıtasında 20,5 milyon m<sup>3</sup>/yıl liflevha üretimi yapılmaktadır. Dünya genelindeki toplam liflevha üretimi 61 milyon m<sup>3</sup>/yıl civarındadır. Bu üretim tesislerinde liflendirme rafinörlerinin elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık olarak yılda 4 milyon Mwh’dır.

Küreselleşen ekonomi ve artan rekabet şartlarının hüküm sürdüğü günümüzde, enerji, ekonomideki talep ve arz üzerinde oldukça etkili bir rol oynamaktadır. Geçmişte yaşanan enerji krizlerinin etkisiyle maliyetlerin artması sonucu enerji,

ekonomik gelişmede önemli bir kıstas haline gelmiştir. Türkiye hızla kalkınmakta olan ve nüfusu hızla artan bir ülke olması nedeni ile enerji tüketimi de hızla artmaktadır. Ortalama yıllık %5,5 büyüme hızı olan Türkiye’de, 2015 yılı verilerine göre enerji tüketiminin yaklaşık %48’i sanayi tesislerinde ve endüstriyel işletmelerde gerçekleşmektedir. Elde edilen veriler ışığında son beş senelik enerji tüketim artış hızı devam ettiği takdirde 2017 yılında Türkiye’ de enerji tüketimi 2006 yılına göre %60 artmıştır (URL-3, 2018). Enerji tasarrufu kavramı, belirli iyileştirme yöntemleri uygulanarak ve/veya yeni teknolojiler kullanarak üretimi ve kaliteyi düşürmeden enerjinin etkin bir şekilde kullanılması olarak tanımlanabilir. Bu nedenle, sanayide enerji tasarrufu ülke açısından büyük önem taşımaktadır. Elektrik enerjisi, kullanım, ölçüm, kontrol ve dağıtım kolaylığı nedeniyle diğer enerji çeşitlerinden daha kullanışlıdır. Buna karşın birim fiyatının yüksekliği nedeniyle elektrik enerjisinin maliyeti daha yüksektir. Elektrik enerjisi fabrikalarda üretim tipine bağlı olarak toplam enerji tüketiminin yaklaşık %5-25’i arasında yer alır.

Liflevha üretiminde ana hammadde olan odun haricinde önemli girdi maliyetlerinden biri de elektrik enerjisidir. Üretim aşamasında liflendirme amacıyla kullanılan diskli rafinörlerde çok yüksek güce sahip motorlar kullanılmaktadır. Günümüz teknolojisine sahip disk bıçaklarının kullanıldığı rafinörlerde 1 ton kuru lif üretmek için ortalama 80–120 kwh elektrik enerjisi tüketilmektedir. Türkiye’de bulunan en yüksek üretim kapasitesine sahip liflevha üretim tesislerinde azami kuru lif üretim kapasitesi yaklaşık 45 ton/saat’tir. 45 ton lif üretebilmek için tüketilen elektrik enerjisi miktarı ise 5400 kwh’a kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle liflendirme rafinörü motoru için seçilen güç ise 9000 kwh’dır. Rafinör motoru enerji tüketimi kwh/m<sup>3</sup> olarak maliyet hesaplamalarına yansıtılmaktadır. Bu nedenle, rafinör motorunun çektiği toplam elektrik enerjisi üretilen ürünün m<sup>3</sup>üne bölünmek suretiyle hesaplanır. Bu değer rafinör bıçaklarının kullanım ömrüne bağlı olmak kaydıyla ortalama olarak 50-90 kwh/m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmektedir. Türkiye’deki mevcut 23 adet liflevha fabrikasında liflendirme yapabilmek amacıyla sadece rafinör motorlarının tükettiği güç ortalama yılda 280.000.000 kwh’dır. Motorların bu denli yüksek güce sahip olmaları bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bunlardan bazıları yedekleme yapılmasının güçlüğü, bakım giderlerinin yüksek olması ve yüksek voltajla (10.000 V) çalışıyor olmalarıdır.

Liflevha üretim teknolojisinde yaygın olarak kullanılan lif üretim yöntemi olan termomekanik hamur yönteminde kullanılan elektrik enerjisinin çok yüksek oluşu özellikle son yıllarda dünya genelinde birçok araştırmacının bu konu üzerine çalışmalar yapmasına vesile olmuştur. Yapılan bu çalışmalar özellikle 2011 yılından sonra ağırlık kazanmış ve olumlu gelişmeler sağlayacak yeni bilgilere ulaşılmıştır. Bu çalışmalar özellikle odun bilimi ile ilgili seçkin uluslararası dergilerde yayınlanmıştır. Bu referanslar ışığında liflendirme yönteminde ilave yöntemler kullanılarak değişikliğe gidilmesi gündeme gelmiştir.

Bu araştırmanın amacı, liflevha üretiminde liflendirme ünitesinde yongaların düşük konsantrasyonlu kimyasalla muamele edilip, hücre çeperinin orta lamelinde bağlayıcı olarak görev yapan bileşenlerin kısmen degrede edilmesidir. Bu sayede odun yongalarının rafinör ünitesinde buhar basıncı altında mekanik olarak liflendirilmesi sonucunda, liflendirme rafinöründe kullanılan elektrik enerjisinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Kullanılan elektrik enerjisi miktarı liflevha üretiminde kullanılan odun türüne göre değişiklik göstermektedir. Bunun asıl nedeni farklı ağaç türlerinin anatomik yapı ve kimyasal karakteristiklerinin farklılık göstermesidir. Liflendirme ünitesinde buharla pişirme işlemi öncesinde pre-heater olarak adlandırılan yonga teknesi öncesine yapılacak yeni düzenekle yongalara belli dozajlarda oksalik asit, sülfamik asit ve hidrojen peroksit püskürtülerek, bu kimyasalların yongalar tarafından sıcaklık yardımıyla homojen bir şekilde emilmesi sağlanacaktır. Bu sayede buharlama işlemi öncesinde odun yongasını oluşturan hücre çeperindeki bağlayıcı polimerlerin degrede edilerek yongaların daha az elektrik enerjisi kullanılarak liflendirilmesi hedeflenmektedir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kimyasal-mekanik hamur üretim yöntemleriyle liflendirme işlemlerinde odun yongaları farklı kimyasal maddelerle ön muamele işlemelerine tabi tutulmaktadır. Odun hücrelerini bir arada tutan polimerler tahrip edilerek yonga şişirilmekte, bunun sonucunda lif hücreleri arasındaki bağlar zayıfladığı için rafinörlerde liflendirme işleminde elektrik enerjisi tüketimi daha az olmaktadır. Ligninin yumuşatılması ile birlikte bazı lignin ve karbonhidratların çözünmesi orta lameli zayıflatır ve lif çeperini daha kuvvetli ve daha az kırılğan yapar. Bu durum liflendirme esnasında liflerin kopma şeklini değiştirebilir ve mekanik işlemlerde daha ileri liflendirme aşamaları sırasında lif özelliklerinde farklı değişimlere yol açabilir (Akgül M, Tozluoğlu, 2006).

Hemiselüloz ve selüloz arasındaki ikincil bağların kopması, hemiselüloz ve lignin arasındaki kovalent bağların kopmasından dolayı, selüloz mikrofibril ve/veya fibrillerini çevreleyen lignin hemiselüloz matriksinin yük paylaşım kapasitesini bozmaktadır. Selüloz mikrofibril ve/veya fibrili bitişiğindeki mikrofibril ve/veya fibril ile ya hiç ya da çok az kuvvet paylaşımı yapar (Ponscak ve Ark, 2006).

TMP (Termomekanik) yöntemiyle liflendirme sırasında elektrik enerjisi kullanımının azaltılmasına yönelik en önemli yaklaşımlardan bir tanesi de yongaların liflendirilmeden önce ön işleme tabi tutulmasıdır. Bu konuda uzun yıllardır mekanik ön işlem, sülfite ön işlemi, alkali hidrojen peroksit ön işlemi, okzalik asit ön işlemi, enzimatik ön işlem vb. ön işlemler uygulanmıştır (Nelsson, 2011).

Literatür araştırmaları sonucunda bu konuda özellikle 2007 yılından sonra laboratuvar boyutunda çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar 2011 yılında ağırlık kazanmış olup, bu yöntemlerin sanayi ölçeğinde uygulanabilirliğiyle ilgili herhangi bir bilgiye henüz ulaşılmamıştır.

İlk araştırmalar okzalik asit ve türevleri ile odun yongalarını ön işleme uğratmanın liflevha üretiminden önce liflendirme esnasındaki enerji tüketimini azaltmak ve

liflevha özelliklerini iyileştirmek için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir. Ön muamele işleminde temel ilke, odun yongalarının atmosferik basınçta, okzalik asit ve türevleri ile emprenye edilerek, yüksek sıcaklıkta karbohidratlarının etkili bir şekilde ekstrakte edilmesidir. Odun yongalarının bu şekilde ön muamele edilmesiyle termomekanik liflendirme prosesinde enerji ihtiyacı düşer (Kenealy vd., 2007).

Akhtar vd. (2008) tarafından alınan patentte okzalik asit ve türevlerinden dietilester ile ön muameleye tabi tutulmuş odun yongalarının termomekanik yöntemle liflendirilmesi sonucunda orta yoğunlukta liflevha üretilebileceği ve elde edilen liflevha'ların su alma özelliklerinin iyileştiği belirtilmiştir.

Houtman ve Horn (2011) yılında yaptıkları çalışmada, Kavak, Ladin ve Çam odunu yongalarını, okzalik asitin % 0–1,2 arasında değişen konsantrasyonlarında, 135°C sıcaklıkta 10 dakika süreyle ön hidrolize uğratmışlar ve çözünen madde miktarını tespit etmişlerdir. Sonrasında ön hidroliz görmüş yongalarla TMP yöntemiyle yapılan liflendirme işleminde % 20–35 oranlarında elektrik enerjisinden tasarruf edildiğini bildirmişlerdir.

Li vd. (2011) yaptıkları çalışmada, kuru oduna oranla %0,33 okzalik asit çözeltisinde çam odunu yongalarını 120, 140 ve 160°C sıcaklıklarda 10 dakika sürelerde ön muamele işlemine tabi tutarak liflendirme işleminde %50'ye varan liflendirme enerjisi tasarrufu sağladıklarını belirtmişlerdir. Elde edilen liflerden üre formaldehit tutkalı kullanarak LİFLEVHA ürettiklerinde levhaların su alma değerinde %20 oranında azalma tespit edildiğini belirtmişlerdir.

Li vd. (2013) yaptıkları en son çalışmada %0,33' lük okzalik asit ile pirinç saplarını 10-120-140 ve 160°C sıcaklıklarda 5 ve 10 dakika sürelerde ön muamele işlemine tabi tutarak liflendirildikten sonra yapılan LİFLEVHA'ların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

Klungness vd. (2003) yaptıkları çalışmada, %1 okzalik asit konsantrasyonlu sulu çözelti içerisinde, çam odunu yongalarını 130°C'de 10 dakika süreyle muamele

etmişler ve daha sonra TMP yöntemiyle liflendirmişlerdir. İşlem sonucunda %20 oranında elektrik enerjisinden tasarruf edildiğini belirtmişlerdir.

Rudie vd. (2007) yaptıkları çalışmada okzalik asidin düşük konsantrasyonda kullanımı ile Ladin ve Kavak odunu yongalarını ön muamele işlemine tabi tutmuşlar ve liflendirme işleminde %25 oranında elektrik enerjisinin düşebileceğini bildirmişlerdir.

Kang vd. (2010) yaptıkları bir araştırmada, okzalik asit ve hidrojen peroksit kimyasallarının düşük konsantrasyonlarda ayrı ayrı ve birlikte kullanımları ile Çam odunu yongalarını ön muamele işlemine tabi tutmuşlardır. Okzalik asit ile yapılan işlemden sonra lif uzunluklarının azaldığını tespit etmişler, bunun yanında liflendirme işleminde %33–57'e varan oranlarda elektrik enerjisinden tasarruf edildiğini belirtmişlerdir.

Rudie (2011) yaptığı araştırmasında, Çam, Ladin ve Kavak odunu yongalarını okzalik asidin %0–0,5–1–1,4 konsantrasyonlu sulu çözeltilerinde 130°C'de 10 dakika ön muamele işlemine tabi tutmuşlardır. Liflendirme işleminde Ladin odunu için %30, Kavak odunu için %12 ve Çam odunu için %31 oranında elektrik enerjisinden tasarruf edildiğini bildirmiştir.

Bir diğer çalışmada Johansson vd. (2007) hidrojen peroksitin düşük konsantrasyonlarda farklı Ph' larda Ladin ve Çam odunu yongalarını liflendirme öncesinde muamele ettiklerinde mekanik liflendirme işleminde %34–42 oranlarında elektrik enerjisinden tasarruf edildiğini göstermişlerdir.

Walter (2009) yayınladığı çalışmasında, tam kuru oduna oranla hazırlanmış %1–2 konsantrasyonlarındaki hidrojen peroksit çözeltileri iki kademeli liflendirme ünitesinin birinci kademesindeki rafinöre yongayla birlikte direkt olarak verilmiştir. Ladin odunu yongaları üzerinde farklı katalizörler kullanılarak yapılan liflendirme işlemi sırasında elektrik enerjisinden %20–40 arası oranlarda tasarruf edildiğini bildirmiştir.

Halvarsson vd. (2009) buğday saplarından yapıştırıcı kullanmadan liflevha üretim demeleri yapmışlar ve bu denemelerde liflendirme rafinörüne hammaddeyi vermeden önce hidrojen peroksitle ve katalizör olarak da demir sülfatla muamele edilmiş ve sonuçta hidrojen peroksit miktarındaki artışın levhaların mekanik özelliklerini iyileştirdiği ifade edilmiştir.

Literatür çalışmalarında da net bir biçimde görüleceği üzere, odun yongalarının buharla pişirme işlemi öncesinde farklı kimyasallar kullanılarak ön muamele işlemine tabi tutulmasıyla liflendirme işleminde rafinör motorunun elektrik enerjisi kullanım miktarı düşmekte ve elektrik enerjisi tüketiminde ciddi tasarruflar ortaya çıkmaktadır. Odun yongalarını oluşturan hücreleri bir arada tutan bağlar bu işlemler sonucunda zayıflatıldığı ve koparıldığı için, hücrelerin birbirinden ayrılması daha kolay olmakta ve yongalar liflendirme rafinörü öncesinde daha fazla şişmektedir. Bunun neticesinde diskli rafinördeki liflendirme işleminde yongaların hücrelerine ayrılıp, liflerin bireysel hale gelmesi için gereken elektrik enerjisi miktarı düşmektedir.

### 3. GENEL KISIMLAR

#### 3.1. Odunun Kimyasal Bileşenleri ve Hücre Çeperi Tabakaları

##### 3.1.1. Hücre Çeperi Tabakaları

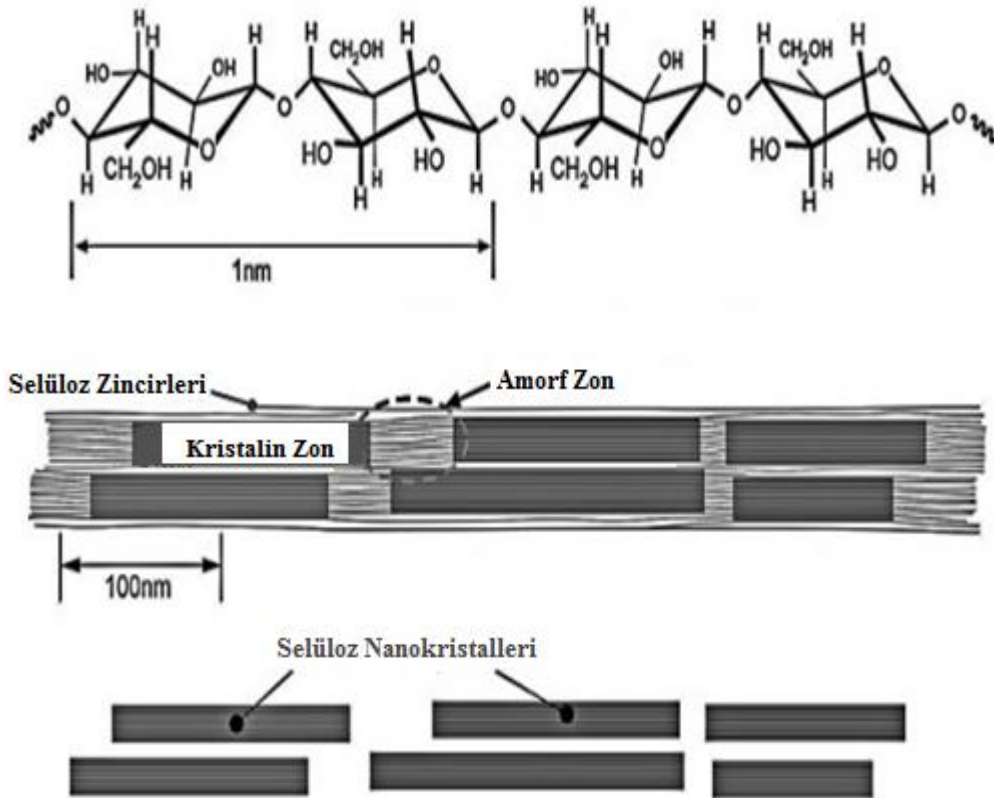
Odun hücresi çeper yapısı tabakalardan oluşmaktadır (Şekil 3). Bu tabakaların kimyasal bileşenlerini oranı, yapısı ve oluşum zamanları arasında farklılıklar vardır. Yapısal farklılıklardan en belirgin olanı mikrofibrillerin yöneliştir (Şekil 2,3). Hücre çeperi tabakalarında dağınık ya da aynı yöne doğru uzanabilmektedir. Aynı yönde uzananlar lamel adı verilen ince tabakalar meydana getirir. Mikrofibrilin hücre eksenine ile yaptığı açıya fibril açısı denir.

Hücre çeperinin asıl bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Bunlar büyük moleküllü polimerler olup, analiz edilebilmesi güçtür. Genel olarak selülozlar hücre çeperinin iskeletini oluştururken, hemiselülozlar, lignin ve pektinler iskeleti çevreleyen ve boşlukları dolduran ara madde görevindedir.

Selülozlar, anhidro glukoz birimlerinin ( $C_6H_{10}O_5$ )  $\beta(1\rightarrow4)$  glukozidik bağlar ile birbirine bağlanması ile oluşan düz zincirli bir glukan polimerdir. Bir selüloz molekülünde ortalama 10 000 glukoz birimi bulunur. Selüloz molekülleri demetler şeklinde birbirleriyle birleşerek, en küçük demet olan elementer fibrilleri oluştururlar. Çapı 3,5  $\mu$ m olup, aynı yönde uzanan 40 selüloz molekülünden meydana gelmektedir. Elementer fibrillerin birleşmesiyle mikro fibriller oluşmaktadır. Elektron mikroskobu ile görülebilen en küçük yapısal birim mikrofibrildir. Bir kısma göre mikrofibriller silindirik olup, çapı 20-30  $\mu$ m, bazılarında ise yassı bir şerit şeklindedir. Şeridin genişliği 10-30  $\mu$ m, kalınlığı 5-10  $\mu$ m ve uzunluğu ise birkaç mikrondur. Mikrofibriller arasında 10  $\mu$ m genişliğinde dar koridorlar olup, lignin, hemiselüloz gibi diğer ara maddelerle doldurulmaktadır. Mikrofibrillerin içerisinde bulunan kapılar boşluklar 1  $\mu$ m genişlikte olup, buralara sadece su ve diğer küçük moleküllü bileşikler girebilmektedir.

Selüloz moleküllerinin yapısal dizilişlere göre düzenli ve düzensiz kısımlardan meydana gelmektedir. Selüloz moleküllerinin aynı yönde ve birbirine paralel olduğu kısımlara kristal kısımlar denmektedir (Şekil 3.1).

Amorf kısımlar selüloz moleküllerinin düzensiz olarak bir araya geldiği alanlar olup, kristal kısımların arasında bulunur. Selüloz molekülleri kristal ve amorf kısımlardan meydana gelecek şekilde genellikle doğrusal şekilde uzanırlar. Kristal kısımlar daha fazla alan kaplarlar (Şekil 3.1, 3.2). Selüloz zincirleri kristal alan boyunun yaklaşık 100 katı olduğundan çok fazla sayıda kristal ve amorf zomun varlığından bahsedilebilir. Engel modeline göre, elementer fibriller fibrilleri, fibriller mikrofibrillerin, onlarda lamelleri meydana getirmektedirler (Şekil 3.2) (Hafızoğlu ve Deniz, 2011).



Şekil 3.1. Selülozun kristalin ve amorf zonları (Dodson, 2012).



sadece bir tabakayla ilişkilendirilemez. Başlangıçta hücreleri birbirinden ayıran bir çeper olup, olgunlaşma evresinde ise bu tabaka ligninin zengince yer aldığı bir tabaka halini alır. Gelişmiş bir hücrede orta lamelin asli bileşeni lignindir. Orta lamelin kalınlığı 0.5-1.5 mikron olup köşelerde daha kalındır (Şekil 3.3), (Hafizoğlu ve Deniz, 2011).

### **3.1.1.2 Primer çeper**

Hücre çeperinin en ince tabakasıdır. Bu ince tabaka, amorf yapıdaki maddelerin aralarında dağınık olarak yerleşen mikrofibrillerden meydana gelmektedir. En önemli kısmı ara maddeleri ihtiva eder. Bu tabakada lameller görülmez. Selüloz miktarı oldukça düşüktür. Bu çeper ve orta lamel birbiri ile bitişik olup, ince tabakalar oldukları için literatürde genellikle birleşik orta lamel adı ile bahsedilir. Hücre çeperinde bulunan tüm ligninin yaklaşık %10'unu içermektedir (Şekil 3.5). Hücrenin gelişim sürecinde ilk olarak primer çeper oluşur. Odun büyüdükçe hücre dokusu genişleyip, uzayacağı için bu tabaka bulunan fibriller gevşek düzenlenmiş halde bulunurlar (Hafizoğlu ve Deniz, 2011).

### **3.1.1.3. Sekonder çeper**

Sekonder çeper çoğunlukla mikrofibrillerden oluşur. Ara madde miktarı az olup, üç tabakadan meydana gelir. İnce dış tabaka (S1), kalın orta tabaka (S2) ve ince iç tabaka (S3) (Şekil 3.3). Bu tabakalar fazlaca lamellerden meydana gelmiştir. Bu tabakalar arasındaki en belirgin fark mikrofibrillerin yönüdür. Bir tabakadan diğerine ani geçişler görülmez. Sadece bir tabaka yavaş yavaş diğerine dönüşür. Sekonder çeperin selülozun en fazla yer aldığı çeper bölgesidir. S1 sekonder çeperin dış tabakası olup, 2-6 lamelden meydana gelir. Mikrofibriller sağa ve sola doğru yönelerek, kesişen hatlar ihtiva ederler. Dış lamelleri primer çepere benzediği halde, dış lamelleri S2 tabakasındakilere benzediği için geçiş tabakası olarak kabul edilir. Bu tabakada selüloz %10'dan daha azdır.

S2 sekonder çeperin orta tabakası olup, en kalın ve teknik açıdan en değerli kısmıdır. Lameller biçiminde tabakalanan mikrofibrillerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Lignin ise genellikle bu lamellerin arasında, bazen de mikrofibrillerin aralarında

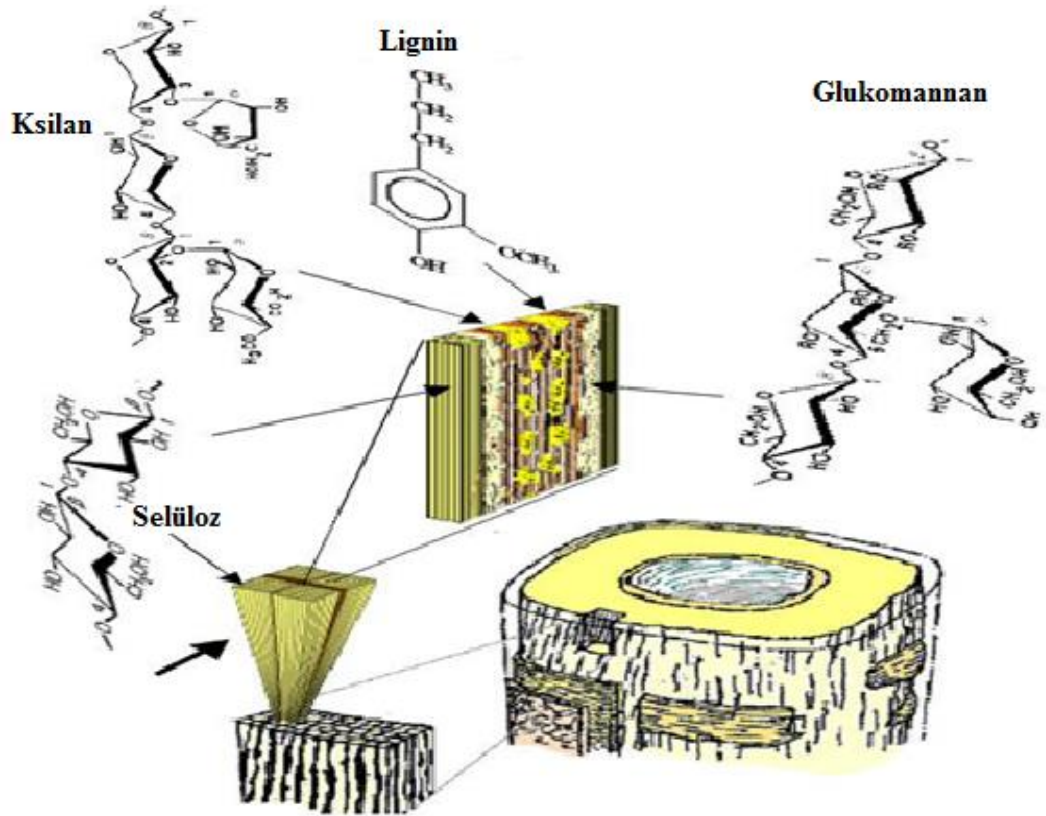
birleştirici şekilde yer almaktadır. Mikro fibriller hemen hemen bütün lamellerde aynı yönde hücre eksenine paralel sayılabilecek bir biçimde spiraller oluşturur.

Farklı iğne yapraklı ağaç türlerinde mikro fibril açısı 10-30° sağa dönüşlü olup, hücreye sağlamlık ve rijitlik kazandırır. Bu tabakanın kalınlığı ilkbahar ve yaz odunu hücrelerinde farklıdır.

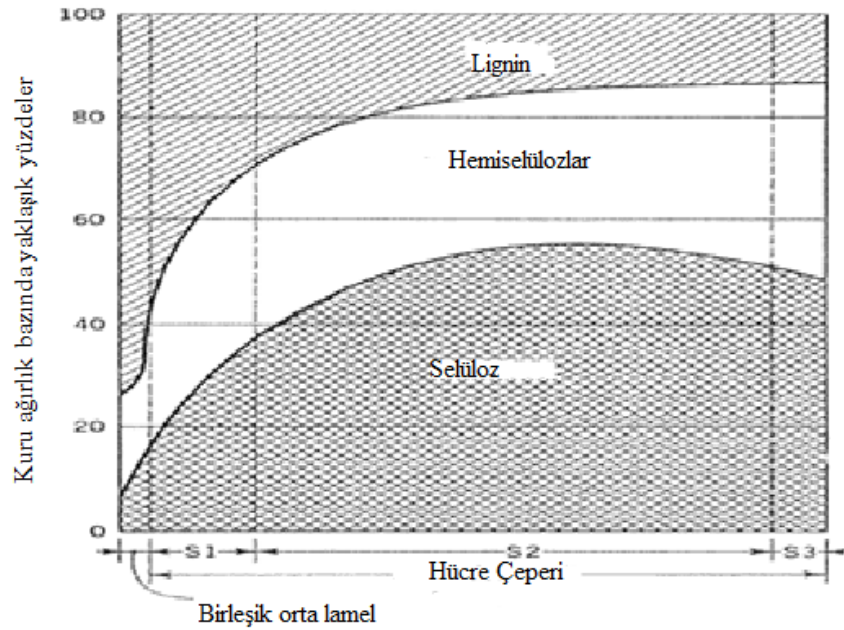
S3 tabakası sekonder çeperin i tabakası ve tersiyer tabaka çok az tanınan tabakalardır. Bu tabakaların oluşumu ve yapısını ele alan farklı görüşler mevcuttur. S3 tabakası, S1 tabakasından daha ince olup, incelenmesi oldukça zordur. S3 tabakası da lamellerden meydana gelmektedir (Hafizoğlu ve Deniz, 2011).

### **3.1.2. Hücre eperinin Ana Kimyasal Bileşenleri**

Ağaç uygulama alanları oldukça geniş, benzeri olmayan özelliklere sahip olan biyolojik bir malzemedir. Büyük bir kısmı yüksek molekül ağırlığına sahip polimer maddelerden oluşmakta ve bu nedenle de i içe nüfuz eden yüksek polimerler sistemi olarak tanımlanmaktadır (şekil 3.4). Ağacın zellikleri kimyasal bileşenlerinin yapısına bağlı olup, bu bileşenlerin farklı kombinasyonlarla meydana getirdiği ultrastrktrel elementler olan hücre tiplerinin (trahe, traheid, lif, parañim vb.) oluşumu sağlanır (Karin, 2009). Odunun hücre çeperini oluşturan makro moleküler bileşenler selüloz, hemiselüloz ve lignindir (Fengel ve Wegener, 1984). nemli yapısal değişimler olmaksızın bu polimerlerin birbirilerinden ayrılması ve izole edilmesi güç olup, bazı etkilere maruz bırakılmasıyla mümkündür. Odun içerisinde yer alan bu ana bileşenler hücre çeperi tabakalarında farklı oranlarda yer almaktadır (şekil 3.5).



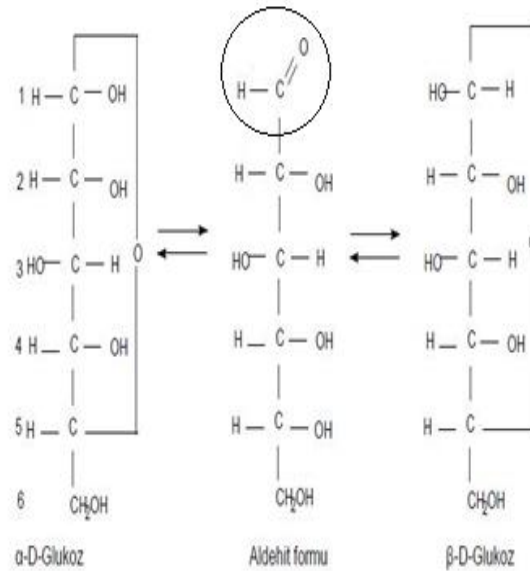
Şekil 3.4. Odunun Kimyasal Bileşenleri (Akerholm ve Salmen, 2003).



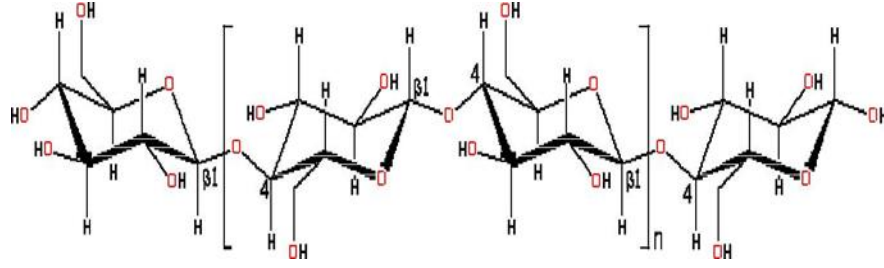
Şekil 3.5. İğne yapraklı odun hücre çeperinde bulunan ana kimyasal bileşenlerin ortalama dağılımı. Primer çeper orta lamele dahildir (Panshin ve De Zeeuw, 1970).

**Selüloz**, hücre çeperinin ana bileşeni olup, ağaç türüne göre değişmekle birlikte kuru odun ağırlığının yaklaşık olarak % 40-45'ini oluşturmakta (Şekil 3.5) ve ağırlıklı olarak sekonder çeperde yer almaktadır. Polimerizasyon dereceleri 7 000 – 10 000 arasında değişmektedir. Selüloz; anhidroglukoz birimlerinin  $\beta(1\rightarrow4)$  glukozidik bağlar ile birbirine bağlanması ile oluşan düz zincirli bir polimerdir (Şekil 3.7). İki komşu glukoz ünitesi,  $C_1$  ve  $C_4$ 'deki OH gruplarının kondenzasyon tepkimesi yoluyla (bir su molekülü çıkışı) birbirine bağlanır (Şekil 3.6). Birinci C'daki OH grubunun  $\beta$  pozisyonu, bunu takip eden glukoz ünitesindeki piranoz halkasının  $C_1-C_4$  eksenini etrafında çevrilmesini gerektirir (Şekil 3.6). Selüloz zincirinin tekrarlanan birimi 1,03 nm. uzunluğuna sahip bir sellobioz ünitesidir.

Selüloz zinciri doğrusal bir yapıdadır ve glukoz birimleri tek düzlem içinde düzenlenmişlerdir. Yalnız  $C1$ 'deki OH grubunun  $\beta$  pozisyonunda olması molekülün zincir şeklinde uzamasına izin verir (Özdemir, 2004). Kuvvetli asitler ve bazlar, konsantre tuzlu çözeltiler ve çeşitli metal kompleksleri selülozu çözebilir (Karin, 2009).

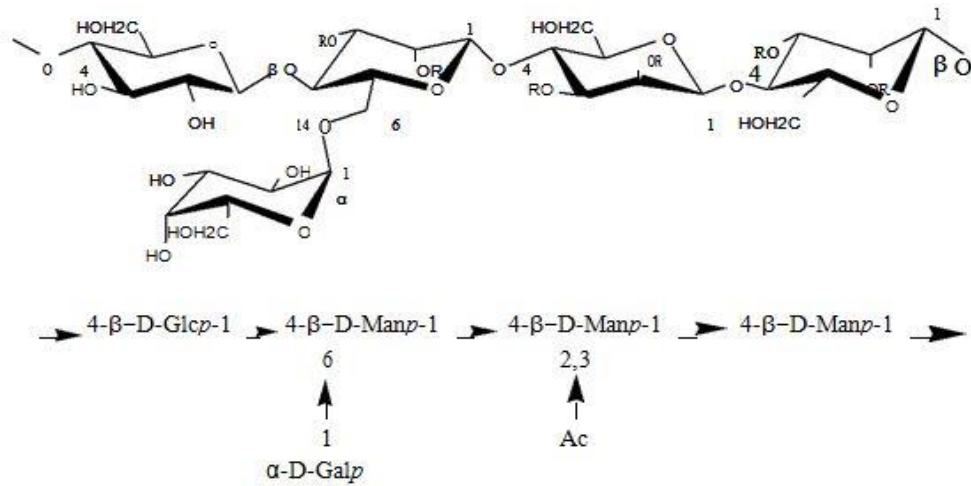


Şekil 3.6.  $\beta$ -D-Glukoz formu (Hafizoğlu ve Deniz, 2011).

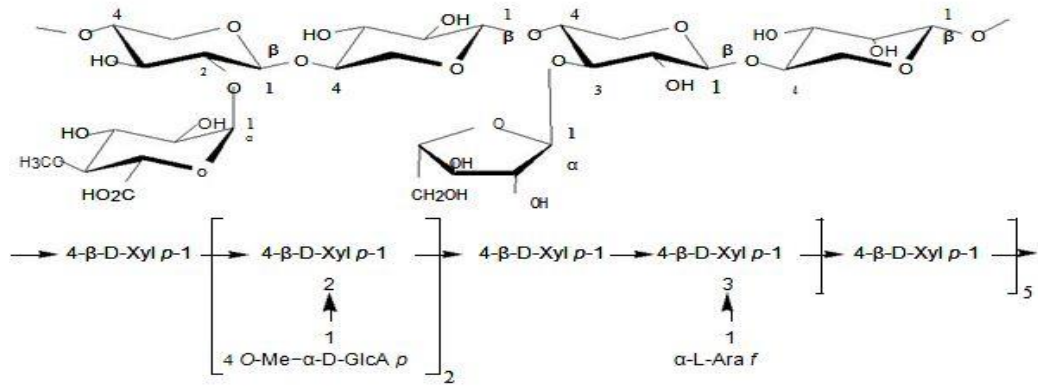


Şekil 3.7. Selülozun Stereo Kimyasal Formülü (Özdemir, 2004).

**Hemiselülozlar**, heteropolisakkartiler olup, selüloz ve ligninden oluşan karmaşık yapı içerisinde selüloz zincirlerinin amorf bölgelerinde bulunurlar ve selüloz mikrofibrillerinin yüzeylerine bağlıdırlar. Ağaç türüne göre değişmekle birlikte kuru odun ağırlığının yaklaşık olarak % 20-30'unu oluşturmaktadır (Şekil 3.5). Polyozlar çok daha kısa ve dallanmış halde bulunan molekül zincirlerine sahip olmaları ve farklı şeker yapı taşlarından oluşmaları ile selülozdan ayrılmaktadırlar (Özdemir, 2004). Ayrıca selüloz ve lignini bağlayıcı bir materyal olarak görev yaptıkları kabul edilmektedir (Şekil 3.14, 3.15). Hemiselülozlar lignine kovalent bağlarla bağlanırken, hemiselüloz ve selüloz zincirleri arasında hidrojen bağları mevcuttur. Hemiselülozlar (polyos) amorf yapıda olup, polimerizasyon dereceleri (DP: 100–200) selülozlara (DP: 7 000–10 000) göre daha düşük olduğundan çözücülere ve suya karşı, selüloza ve lignine oranla daha hassastırlar. Yüksek çözünürlüğe sahip olup, hızlı bir şekilde hidrolize olurlar.

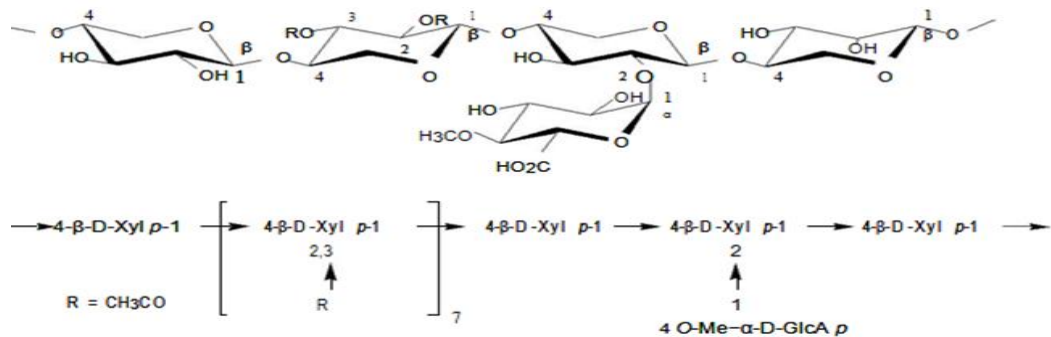


Şekil 3.8. İbrelî ağaç galaktoglukomannanlarının (**mannan**) ana yapısı (Fengel ve Wegener 1989; Sjöström 1993; Shimizu, 2001).

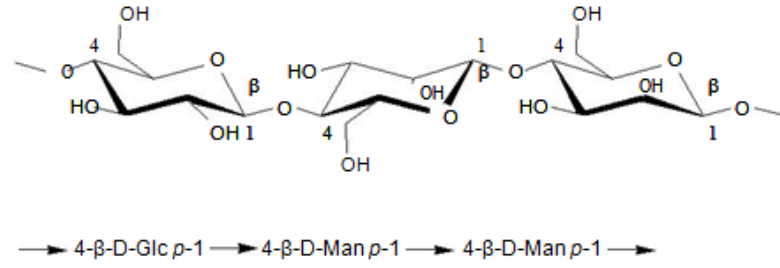


Şekil 3.9. İbrelî ağaç arabinoglukuronoksilan (**ksilan**) ana yapısı (Fengel and Wegener 1989; Sjöström, 1993; Shimizu, 2001).

İbrelî ağaç türlerinde çoğunlukla Galaktoglukomannan ve Arabinoglukuronoksilan grupları yer alır ve ortalama polimerizasyon değerleri 100'dür. İbrelî ağaçlarda galaktoglukomannan polimerleri glukoz ve mannoz birimlerinin  $\beta(1\rightarrow4)$  glikozidik bağlanmasıyla meydana gelmiştir (Şekil 3.8). İbrelî ağaçlarda yaklaşık olarak %15-23 civarında yer alırlar (Tablo 3.1). Asetil grupları ise mannoz birimlerinin genellikle  $C_2$  atomuna bazen de  $C_3$  atomuna bağlı bulunmaktadır. Galaktoz kalıntılarıysa  $\alpha(1\rightarrow6)$  glikozidik köprüleriyle mannoz-glukoz ana zincirine bağlanmaktadır (Şekil 3.8). İbrelî ağaçlarda arabinoglukuronoksilan ise %7-10 civarında bulunurlar (Tablo 3.1). Ana zinciri ksiloz birimlerinin  $\beta(1\rightarrow4)$  glikozidik bağıyla meydana gelirken (Şekil 3.9), ana zincire bağlı yan grup  $\alpha$ -L-Arabinofuranoz  $\alpha(1\rightarrow3)$  glikozidik bağlarla bağlanmış ve  $\alpha(1\rightarrow2)$  glikozidik köprüsüyle ana zincire bağlanarak metilglukuronik asit birimleri bulunur (Uçar, 1980).



Şekil 3.10. Sert ağaç glukuronoksilan (ksilan) ana yapısı (Fengel ve Wegener 1989, Sjöström 1993; Shimizu 2001).



Şekil 3.11. Sert ağaç glukomannan (mannan) ana yapısı (Fengel ve Wegener 1989; Sjöström 1993; Shimizu, 2001).

Glukomannan ve glukuronoksilan grupları yapraklı ağaç türlerinde en çok yer alan hemiselüloz türleridir. Yapraklı ağaç türlerinde glukuronoksilanlar farklı oranlarda olabilmelerine rağmen, başlıca O-asetil-4-O-metil glukuronoksilandan oluşmaktadır. Ortalama polimerizasyon değerleri 200 civarındadır. Yapraklı ağaçlarda odun kuru ağırlığının yaklaşık olarak %15-30'u ksilanlardan meydana gelmektedir (Tablo 3.1). Ana zincir β-D-ksilopiranoz birimlerinden oluşmakta olup, bu birimler β(1→4) glikozidik bağlar ile birbirine bağlanmaktadır. Ksilan ana zincirine 1→2 glikozidik bağlarla 4-O-metil-α-D-glukuronik asit grupları bağlanmıştır (Şekil 3.10). Yapraklı ağaçlarda bulunan ksilanlar, yumuşak ağaç ksilanlarında bulunan α-L-Arabinofuranoz yan zincirlerini içermezler. Bu özellikleriyle birbirlerinden ayrılırlar (Hafizoğlu ve Deniz, 2011).

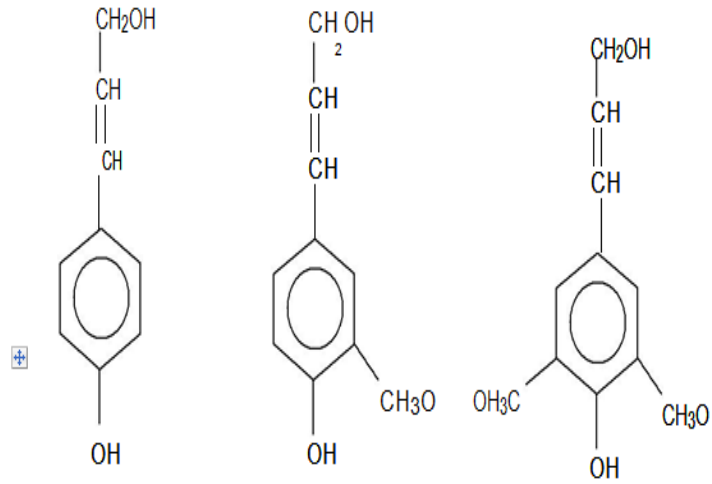
Glukomannanlar, yapraklı ağaç türlerinde bulunan diğer önemli hemiselüloz grubudur. Yapraklı ağaç odunu kuru ağırlığının yaklaşık olarak %2-5'i kadardır (Tablo 3.1). Glukomannanlar β-D-glukopiranoz ve β-D-mannopiranoz birimlerinin β(1→4) glikozidik köprülerle bağlanmasıyla oluşmaktadır (Şekil 3.11). Glukoz ve mannoz oranları ağaç türlerine göre farklılık gösterir. Asidik koşullarda selüloza göre çok daha kolay depolimerize olurlar. Polimerizasyon değeri ksilana göre daha düşük olup, yaklaşık 100 civarındadır (Hafizoğlu ve Deniz, 2011).

Tablo 3.1. *Yapraklı ağaç ve sert ağaçlarda bulunan önemli hemiselüloz bileşenleri* (Chan, 2012).

ODUN	Hemiselüloz türü	Miktar	Üniteler	Molar oranları	Köprü	DP
İBRELİ AĞAÇLAR	Galakto-glukomannan	5 - 8	$\beta$ -D-Manp	3	1 $\rightarrow$ 4	100
			$\beta$ -D-Glcp	1	1 $\rightarrow$ 4	
			$\alpha$ -D-Galp	1	1 $\rightarrow$ 6	
			Acetyl	1		
	(Galakto)-glukomannan	10 - 15	$\beta$ -D-Manp	4	1 $\rightarrow$ 4	100
			$\beta$ -D-Glcp	1	1 $\rightarrow$ 4	
$\alpha$ -D-Galp			0.1	1 $\rightarrow$ 6		
Acetyl			1			
Arabino-glukuronoksilan	7 - 10	$\beta$ -D-Xylp	10	1 $\rightarrow$ 4	100	
		4-O-e-M $\alpha$ -D-GlcpA	2	1 $\rightarrow$ 2		
		$\alpha$ -L-Araf	1,3	1 $\rightarrow$ 3		
YAPRAKLI AĞAÇLAR	Glukuronoksilan	15 - 30	$\beta$ -D-Xylp	10	1 $\rightarrow$ 4	200
			4-O-e-M $\alpha$ -D-GlcpA	1	1 $\rightarrow$ 2	
			Acetyl	7		
Glukomannan	5 - 8	$\beta$ -D-Manp	1-2	1 $\rightarrow$ 4	200	
		$\beta$ -D-Glcp	1	1 $\rightarrow$ 4		

**Lignin**, hücre çeperinin en dış tabakasında ağırlıkça fazla bulunan, hücre çeperlerini birbirine bağlayan, şişmeyi önemli ölçüde önleyen odunun ana kimyasal bileşenlerinden biridir. Ayrıca mikroorganizma saldırılarına karşı hücreyi korur ve enzimatik bozulmaya karşı bariyer görevi yaparak, hücre duvarını korur (Karin, 2009). Farklı odun türlerinde farklı oranlarda olduğu tespit edilmiş olup, takriben odunun dörtte birini oluşturmaktadırlar. Lignin miktarı iğne yapraklı ağaç odunlarında daha fazla olup, %23-33 arasında değişirken (Şekil 3.6), yapraklı ağaç odunlarında bu değer % 16-25 arasında değişmektedir (Uçar, 1980).

Odunda bulunan ligninin üç ana yapı taşı olup, bunlar p-kumaril alkol, koniferil alkol ve sinapil alkoldür (Şekil 3.13). Karışık bir molekül yapıya sahip olması ve hücre çeperi içerisinde 3 boyut üzerinde dağılım göstermesi, bu moleküllerin tam olarak incelenmesini zorlaştırmaktadır. Asit ve bazlarla izole edilmesi pek mümkün değildir (Fengel ve Wegener, 1984).

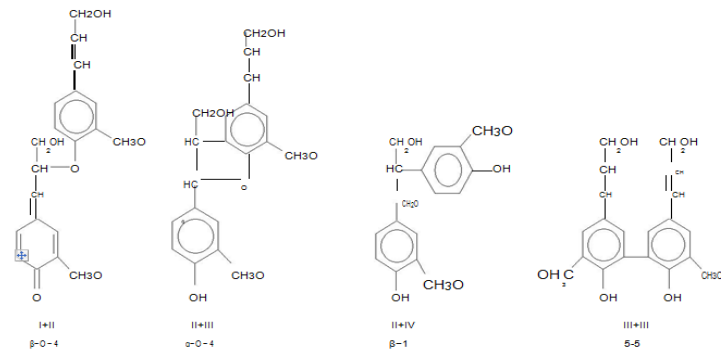


Şekil 3.12. Ligninin yapı taşları (Özdemir, 2004).

P-kumaril alkol, yapraklı ve iğne yapraklı ağaç ligninlerin de az bulunan bir yapı taşıdır. Koniferil alkol, iğne yapraklı ağaç ligninlerinin baskın yapı taşıdır. Bunun yanında hem koniferil alkol hem de sinapil alkol, yapraklı ağaç lignini yapı taşıdır. Bu alkoller lignin içinde, C-C ve eter bağları ile birbirlerine bağlıdır (Rowell, 1983).

Lignin’de en sık rastlanan bağ tipleri şöyledir; (Glasser ve Glasser, 1981)

$\beta$ -O-4 + $\alpha$ -O-4 bağı	% 55
$\beta$ -5 bağı	% 16
$\beta$ -1 bağı	% 9
5-5 bağı	% 9
4-O-5 bağı	% 3

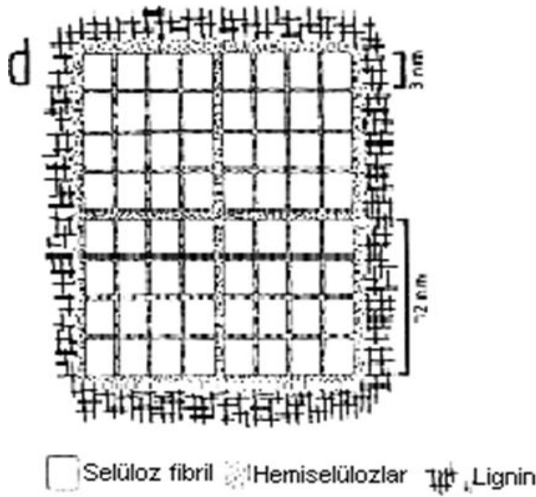


Şekil 3.13. Lignin Molekülünde En Sık Rastlanan Bağ Tiplerinin Gösterildiği Dilignoller (Özdemir, 2004).

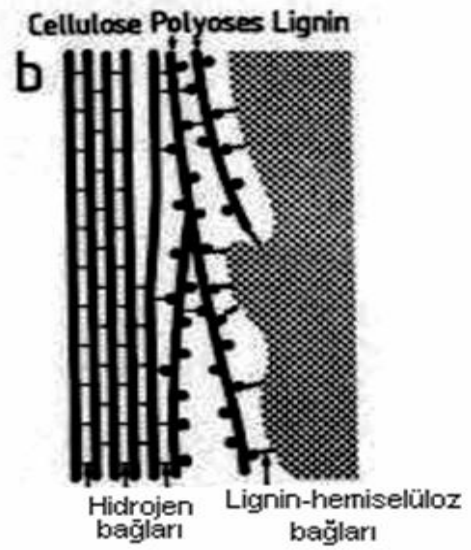
Odunun ana bileşenleri olan bu bileşenler haricinde, daha az miktarda düşük molekül ağırlığında ekstraktif adı verilen bileşenlerde odun yapısı içerisinde yer almaktadır. Odun türüne, yetişme muhitine ve mevsime göre farklılık arz etmekle birlikte, odunda ağırlıklı olarak reçine kanallarında ve paranzim hücrelerinde depo edilirler. Odunda yüzdece çok düşük oranda olmalarına rağmen, odun özellikleri ve kullanım kalitesine tesir etmektedirler. Fenolik bileşikler, boyar maddeler, tanenler, reçine asitleri, yağ asitleri, terpenler ve nişasta gibi farklı türde ekstraktif maddeler odun bünyesinde yer alabilmektedir. Bu maddeler polar veya apolar çözücüler ile odun bünyesinden kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir (Özdemir, 2004).

Tablo 3.2. Bazı odunların hücre çeperi kimyasal bileşenlerinin miktarları (Chan, 2012).

<b>Bileşenler (%)</b>	Sarıçam (Pinus sylvestris)	Ladin (Picea glauca)	Okaliptus (Eucalyptus camaldulensis)	Doğu kayını (Fagus orientalis)	Kızılçam (Pinus Brutia)	Huş (Betula verrucosa)
Selüloz	40	39,5	45	54,19	54,1	41
Hemiselüloz				24,66	16,7	
Glukomannan	16	17,2	3,1			2,3
Glukuronoksilan	8,9	10,4	14,1			27,5
Diğer polisakkaritler	3,6	3	2			2,6
Lignin	27,7	27,5	31,3	22,25	27,4	22
Total ekstraktifler	3,5	2,1	2,8	-	-	3



Şekil 3.14. Hücre Çeperi Bileşenlerinin Bileşenlerinin Modelleri (Fengel, 1970).



Şekil 3.15. Hücre çeperi ara tabakalardaki bağlar (Fengel,1970).

## 3.2. Lif Üretim Yöntemleri

### 3.2.1. Kimyasal Yöntem

Kimyasal yöntemle odun hücrelerini bir arada tutan orta lameldeki lignin ve hemiselülozlar degrede edilerek liflendirme yapılır. Lignin ve hemiselülozların büyük kısmı degrede edilip uzaklaştırıldığı için elde edilen liflerin esneklikleride artmaktadır. Liflendirme için mekanik hareket kullanılmadığı için lifler üzerinde hasar oluşmaz. Bu sayede bu yöntemle elde edilen liflerle yapılan kağıdın direnç özellikleri diğer yöntemlere göre daha yüksek olur (Kırcı, 2000).

Kimyasal yöntemle kağıt hamuru yöntemleri pişirme ortamının Ph değerine göre aşağıdaki alt gruplara ayrılabilir.

#### a) Alkalen Pişirme Yöntemleri

1-) Soda yöntemi ve modifikasyonları

2-) Sülfat (kraft) yöntemi

3-) Alkali-sülfıt yöntemi

b) Asidik Pişirme Yöntemleri

1-) Sülfıt yöntemi

2-) Organosolv yöntemler

### **3.2.2. Yarıkimyasal Yöntem**

İki kademedede gerçekleştirilir. Yongalar öncelikle kimyasal madde bulunan bir çözeltide pişirme işlemine maruz bırakılıp, hemiselüloz ve ligninin kısmen uzaklaştırılmasından sonra rafinör kullanılarak mekanik hareketle liflendirme yapılır. Hemiselüloz ve lignin tamamıyla uzaklaştırılmaz. Aksine yüksek oranda hamurda yer alırlar. Bu yöntemle orta derece kalite özelliklerine sahip hamur üretilir. Ancak odun hammaddesi kaybı daha az olup, verim daha yüksektir. En yaygın kullanılan yöntem nötral sülfıt yarıkimyasal (NSSC) yöntemidir (Kırcı, 2000).

### **3.2.3. Mekanik Yöntem**

Bu yöntem liflendirici adı verilen özel makineler kullanılarak, odun yongalarının kimyasal madde kullanımı olmadan mekanik işlemle liflendirilmesi esasına dayanır. Bu yöntemde verim diğer iki yönteme göre daha fazladır. Lignin ve hemiselüloz uzaklaştırılmaz. Farklı şekillerde lif üretim yöntemleri olmakla birlikte aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

1-) Taşlı liflendiricide üretilen hamurlar

- Taş mekanik odun hamuru (SGW, GW)
- Basınçlı taş mekanik hamuru (PSGW)

2-) Rafinörde üretilen mekanik hamurlar

- Rafinör mekanik hamuru (RMP)

- Termomekanik hamur (TMP)
- Kimyasal mekanik hamur (CMP, CRMP)
- Kimyasal termomekanik hamur (CTMP)

### **3.3. Liflendiricide Enerji Tüketiminin Azaltılması**

#### **3.3.1. Isıl Ön İşlem**

Bu yöntem odunların yonga adı verilen küçük parçalar haline getirilmesinden sonra yüksek basınçlı buhar ortamında ısıtılarak, rafinör adı verilen mekanik liflendiricide ligninin eriyik hale gelmesiyle yongaların lif ve lif demetlerine ayrılması esasına dayanmaktadır. Liflendirme işlemi tek seferde ya da atmosferik basınçta ikinci bir liflendirme işlemi ile yapılabilmektedir.

#### **3.3.2. Kimyasal Ön İşlem**

Odun ve liflerin kimyasal modifikasyonu genellikle şişme ve yumuşama davranışını etkilemektedir. CMP, CTMP ve APMP yöntemlerinde sülfonlama ve karboksilleme gibi işlemlerde, ligninin yumuşama sıcaklığını düşürmek için ligninle birleşme sağlanır (Salmen, 1995). Bu kimyasal uygulamalar şişme etkisi de sağlarlar. Liflendirme öncesinde odun yongalarına kimyasal uygulaması yapılması kimyasal ön işlem olarak adlandırılır. Termomekanik hamur yönteminde özellikle yumuşak ağaçların liflendirilmesinde kimyasal ön işlem uygulaması, şimdiye kadar endüstride sınırlı ölçüde kullanılmıştır (Walter, 2009).

Yongaların düşük dozajda sülfonlama işlemine tabi tutulması ile yüksek verimli hamur üretimi ve enerji tasarrufu potansiyeli vardır. Primer çeperin sülfolanması sonucu hücrelerin ayrılması ile ilişkilendirilmiştir (Westermarck, 1987; Peng, 1992).

Kimyasal mekanik hamur üretim yöntemleriyle liflendirme işlemlerinde odun yongaları farklı kimyasal maddelerle ön muamele işlemelerine tabi tutulmaktadır. Odun hücrelerini bir arada tutan polimerler tahrip edilerek yonga şişirilmekte, bunun sonucunda lif hücreleri arasındaki bağlar zayıfladığı için rafinörlerde liflendirme işleminde elektrik enerjisi tüketimi daha az olmaktadır. Ligninin yumuşatılması ile

birlikte bazı lignin ve karbonhidratların çözünmesi orta lameli zayıflatır ve lif çeperini daha kuvvetli ve daha az kırılğan yapar. Bu durum liflendirme esnasında liflerin kopma şeklini değiştirebilir ve mekanik işlemlerde daha ileri liflendirme aşamaları sırasında lif özelliklerinde farklı değişimlere yol açabilir (Akgül ve Tozluoğlu, 2006).

TMP (Termomekanik) yöntemiyle liflendirme sırasında elektrik enerjisi kullanımının azaltılmasına yönelik en önemli yaklaşımlardan bir tanesi de yongaların liflendirilmeden önce ön işleme tabi tutulmasıdır. Bu konuda uzun yıllardır mekanik ön işlem, sülfite ön işlemi, alkali hidrojen peroksit ön işlemi, okzalik asit ön işlemi, enzimatik ön işlem vb. ön işlemler uygulanmıştır (Nelsson, 2011).

Selülozun basit şekerlere hidrolizi, kullanılan asidin derişimine ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak birkaç saat alırken, hemiselülozlar çok hızlı ve kolay bir şekilde çoğunlukla birkaç dakikada hidroliz olurlar.

Okzalik asit, sulu çözeltisinde suya iki adet ( $H^+$ ) iyonu bıraktığından çift pKa değerine ( $pK_{a1}=1,46$ ,  $pK_{a2}=4,40$ ) sahip olan bir zayıf asittir (0,1 M sulu çözeltisinin pH değeri 1,3). Asetik asit ve formik asitten daha güçlü olan bu asidin düşük derişiminde ki sulu çözeltisinin pH değeri 0,5–1,5 aralığındadır. Yongalar üzerinde ön muamele amaçlı kullanılmasıyla amorf yapısından dolayı asitlere karşı selüloza nazaran daha dayanıksız olan hemiselüloz şekerleri hidroliz olmaktadır (Şekil 4, Şekil 5). Hemiselülozlar 5 veya 6 karbonlu şeker moleküllerinin  $\beta(1\rightarrow4)$ ,  $\alpha(1\rightarrow6)$  ve  $\alpha(1\rightarrow3)$  glikozidik köprülerle bağlanmasıyla oluşan amorf yapıda düşük molekül ağırlığında polimerlerdir. Zayıf asidik ortamda yukarıda belirttiğimiz eter köprüleri kopar ve hemiselüloz polimerleri yapı taşlarına ayrılırlar. Ancak selüloz daha fazla kristal bölgeler içerdiği için zayıf asidik ortamlarda çok daha zor bozunur ve polimerleşme derecesinde önemsenecek kayıplar yaşanmaz. Lignin polimerleri ise zayıf asidik ortamlarda hidroliz olmazlar. Hemiselülozların hidroliz olmasıyla özellikle orta lamel ve hücre çeperinin S1 tabakasında selüloz fibrilleri ile lignin arasındaki bağ kopar. Bu sayede odun hücreleri buharla pişirme işleminde daha fazla şişerler ve birbirinden daha kolay ayrılırlar. Bu da liflendirme amacıyla kullanılan elektrik enerjisinin azalmasını sağlar.

Sülfamik asit sulu çözeltisinin kullanımında da okzalik asit kullanımına benzer etkiler görülür. Sülfamik asit, pKa değeri okzalik asite eş değer sayabileceğimiz bir kimyasaldır ( Okzalik asit pKa=1,25–4,14, sülfamik asit pKa=1,0). Ayrıca fiyat olarak okzalik asite oranla inorganik asit olmasından dolayı daha ucuzdur. Literatürde kullanımına rastlanılmamasına rağmen bu maddenin laboratuvar ölçeğinde yapılacak denemelerde kullanılmasına karar verilmiştir. Sülfamik asit sulu çözeltisi, okzalik asit kullanımında olduğu gibi odun hücrelerinin kimyasal bileşenlerinden olan hemiselüloz polimerlerinin hidroliz olmasına neden olarak, odun yongalarının liflendirilmesi işleminde elektrik enerjisi tüketiminin azalmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

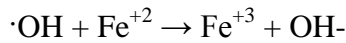
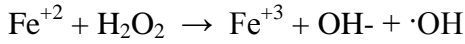
Kimyasal oksidasyon teknolojileri, zararlı kimyasalları ayrıştırmak ya da daha basit toksik olmayan maddelere dönüştürmek için yükseltgeyici reaktifleri kullanma işlemleri olarak tanımlanır. İleri oksidasyon süreçleri genelde geleneksel yükseltgeyici işlemleriyle çok zor ayrışabilen zararlı kimyasalları yükseltgemek için hidroksil radikallerinin (HO•) üretimi ve kullanılmasını kapsar. İleri oksidasyon süreçleri, içme suları, atık sular, yeraltı suları ve toprağın istenmeyen ve zararlı maddelerden arıtılmasında kullanılır. Bu işlemler genellikle, birçok organik ve inorganik maddelerde ayırım gözetmeksizin tepkimeye giren oldukça reaktif hidroksil radikallerinin (HO•) üretimi ve kullanımına dayanır. Oksidasyon işlemi birçok yolla gerçekleştirilmektedir. Biz burada Fenton reaktifi ile hidroksil radikallerinin (HO•) elde edilmesine dayanan yöntem üzerinde duracağız. Organik bileşiklerin oksidasyonu için hidroksil radikali (HO•) üretiminin diğer yaygın bir yöntemi de Fenton reaktifidir. Fenton reaktifi yükseltgenmesi için indirgenmiş demir tuzları varlığında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin hidroksil radikaline (HO•) bozunmasını sağlamaktadır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (hidrojen peroksit) ferröz demiriyle (Fe<sup>2+</sup>); hidroksil radikali (HO•) ve ferrik demiri (Fe<sup>3+</sup>) vermek üzere tepkimeye girer.

Fe<sub>3</sub><sup>+</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, süperoksit radikali (•O<sub>2</sub>) veya süper oksit radikalinin protonlanmış biçimi olan perhidroksil radikali ile tepkimeye girerek tekrar Fe<sub>2</sub><sup>+</sup>'ya indirgenir.

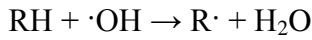
Hidroksil radikalleri oldukça reaktiftir ve geniş ölçüde spesifik olmayan tepkimelerde rol oynarlar (Sunggyu, 2006). Odun yongasının hidrojen peroksit ile ön

işleme maruz bırakılmasıyla ligninin erime sıcaklığının düştüğü ve daha yüksek oranda şişme oluşumu gözlemlenmiştir (Hammar, 1995).

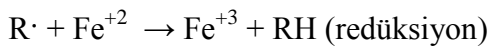
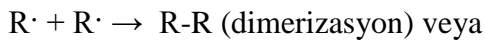
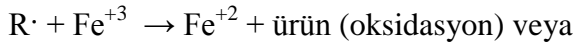
Fenton Reaksiyonu pH değeri 2 ile 5 arasında iken demir iyonlarının ve organik kirleticilerin bulunduğu ortama hidrojen peroksit ilave edilirse aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşir;



Oluşan  $\cdot\text{OH}$  radikalleri ortamdaki organik bileşiklerle (RH) reaksiyona girerek yeni organik radikallerin oluşumuna neden olmaktadır;



Buradan itibaren üç ayrı reaksiyon ihtimali mevcuttur:



Fenton reaksiyonunun esas avantajı, fotokimyasal oksidasyon proseslerinden daha eski ve popüler olması ve ultraviyole ışığının penetrasyonuna bağımlı olmaksızın reaktör konfigürasyonlarının yapılabilmesidir. Bunlara karşın prosesin düşük pH değerlerinde gerçekleştirilmesinden dolayı nötralizasyon ve ortama ilave edilen demir iyonlarının çöktürülerek ortamdan uzaklaştırılma zorunluluğu Fenton prosesinin en önemli dezavantajıdır.

Termomekanik hamur proseslerinde ozon kullanımı ile odun türüne bağlı olmak kaydıyla %5-30 arasında, liflendirme enerjisi tasarrufu sağlandığı bilinmektedir (Conil, 1998; Conil, 2003).

### 3.3.3. Biyolojik Ön İşlem

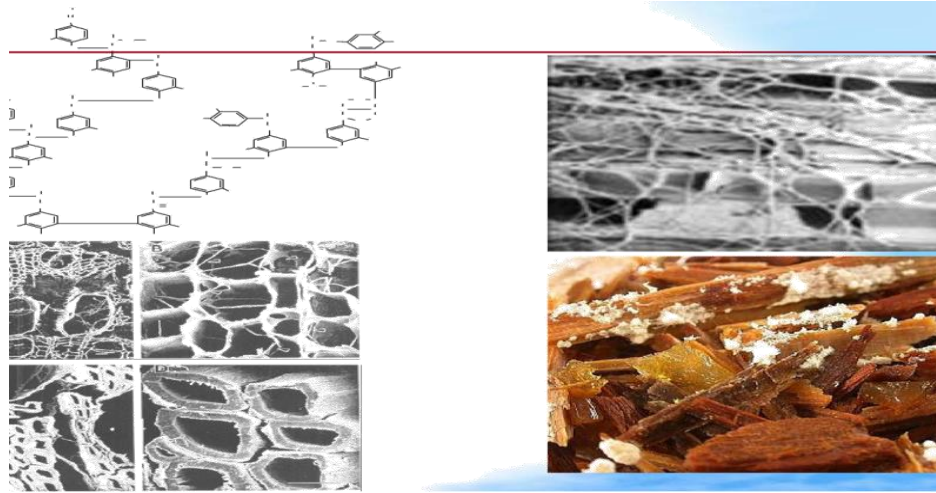
1997’ de ABD’de (USDA-FPL) ilk büyük ölçekli (5 ve 50 ton) biyolojik kâğıt hamuru üretim (biopulping) denemesi yapılmıştır. Bu durum, biyolojik delignifikasyon fikrinin büyük ölçekli kâğıt tesislerine uygulanabileceğini kanıtlanması açısından önemlidir.

Bu denemenin sonucunda elde edilen bulgularla bu prosesin üretim tesislerinde kullanılmasına başlanmıştır. Bu prosesin öncelikle mekaniksel kâğıt hamuru üretimine uygulanmasının amacı, düşük kalitede olan bu tür kâğıtların üretimi sırasında kullanılan elektrik enerjisinin azaltılması ve aynı hatta daha iyi fiziksel özelliklere sahip olan kâğıtların daha ucuz üretilmesinin sağlanmasıdır. Ayrıca mekanik hamur yöntemiyle çalışan tesislerin kurulum ve işletme maliyetleri kimyasal hamur yöntemiyle çalışan tesislere göre daha ucuz olması diğer bir neden olarak söylenebilir (Şahin ve Arslan, 2007).

Beyaz çürüklük mantarlarının hücre çeperinde bulunan lignini yüksek oranda tahrip etmesi ve karbonhidratları bozması bu yöntemin temel koşuludur (Şekil 3.16). Bu mantarların odunda bu tahribatı yapması için gerekli yaşam şartlarının sağlanması gerekmektedir. Yüzlerce beyaz çürüklük mantarı bilinmekle birlikte, bunların içinden sadece bazıları biyolojik işlemlere uygundur. Zira bir odun türü için uygun olan bir mantar çeşidi diğer odun da aynı başarıyı gösteremeyebilmektedir. Mantarlar, hücre çeperinin ana kimyasal bileşenlerini farklı oranlarda tahrip edebilirler. Lignini kabul edilebilir derecede degrade eden ve karbonhidratlara zarar veren mantarlar kullanılmalıdır.

Tablo 3.3. Bazı mantar türlerinin odunun kimyasal bileşenlerinde meydana getirdiği tahribat miktarları (Şahin ve Aslan, 2007).

Mantar	Ağırlık kaybı (%)		
	Lignin	Glikoz	Ksiloz
Coriolus versicolor	64	65	68
Dichomitus squalens	71	44	43
Phellinus pini	54	5	13
Phlebia tremellosa	75	4	39
Poria medulla-panis	73	0	32
Scytinostroma galactinum	89	8	44



Şekil 3.16. Beyaz çürüklük mantarının tahrip ettiği yongaların elektron mikroskobu Görüntüsü (Şahin ve Aslan, 2007).

Yöntemin ana ilkesi beyaz çürüklük mantarları ile odunun temel kimyasal bileşenlerinden olan ligninin belli oranda uzaklaştırılarak, yongaların yumuşatılması amaçlanmaktadır (Tablo 3.3.). Bu sayede yongaların mekanik olarak liflendirilmesinde önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca düşük

kalitedeki mekanik kağıtlarda bazı özelliklerin iyileştirilmesi yöntemin diğer bir artısı olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu yöntemin uygulanmasındaki en büyük problem olarak görülen, belli süre beklenmesi (15 gün) yapılan çalışmalar sonucu geliştirilen yeni yöntemlerle dezavantaj olmaktan çıkmıştır. Günümüzde, biyolojik kâğıt tesislerinin kurulup işletilmesi amacıyla Brezilya ve bazı Güney Amerika ülkelerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır (Şahin ve Arslan, 2007).

#### **3.3.4. Aşamalı İşlem**

Mekanik veya kimyasal mekanik hamur yöntemlerinde spesifik enerji tüketiminin düşürülmesi için kimyasal kullanımı farklı adımlarda olabilir. Bir alternatif liflendirmeden önce kimyasal uygulaması yapmakken, diğer yöntemde iki aşamalı liflendirme sistemlerinde liflendirme süresince ya da iki liflendirme makinesi arasında kimyasal uygulaması yapılması şeklindedir. Birinci uygulamanın yapılabilmesi için emprenye ekipmanları gerekirken, ikinci uygulama birden fazla liflendirme makinesi bulunan proseslerde birinci liflendiricinin karıştırma ekipmanı yerine kullanılmasıyla daha ucuz uygulama avantajı oluşmaktadır. Birincil liflendirme aşamasında düşük enerji kullanımı gerçekleşirse eğer, aşamalı liflendirme yaklaşımı için potansiyel enerji düşüşü hatırı sayılır ölçüde olabilir (Campbell 1934; Kano, 1983; Sundholm, 1993).

OPCO prosesi (Ontario Paper Company tarafından geliştirilmiş) aşamalı liflendirme proseslerinde kullanılmak üzere kimyasal uygulaması yapılan bir reaktörün termomekanik ya da mekanik hamur yöntemlerine kombine edilmesidir (Knuutila ve Barnet, 1984). Elde edilen ürün, kimyasal hamurların yüksek esneklik ve bağlama yeteneği ile mekanik hamurların liflendirme ve yüksek verim özelliklerinin birleşimidir (Walter, 2009).

Ozonlama ve sülfolama işlemlerinin aşamalı liflendirmede kullanımı ile spesifik enerji kullanımında azalma sağladığı bilinmektedir. Liflendiriciye %2-5 sodyum sülfite ilave edilmesiyle yongalar ön muameleye tabi tutularak enerji tasarrufu yapılmış, spesifik enerji kullanımı en az %20 azalmıştır (Högman ve Hartler, 1988).

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Kızılçam (*Pinus brutia*)

Pinus cinsinin Türkiye'deki en önemli türlerinden olan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) (Syn.: *Pinus pityusa* Stev.) Sylvestris alt seksiyonuna ait diploxylon çam türüdür. Bu çam türü Doğu Akdeniz bölgesinin bir türü olup dünya üzerinde en geniş yayılışını Türkiye'de Akdeniz sahillerini baştanbaşa kapsayarak yapmaktadır (Kasaplıgil, 1952; Selik, 1963; Şefik, 1965).

Akdeniz ikliminin müşir türlerinden olup tipik bir ışık ağacıdır. Kurak koşullara son derece dayanıklı, çok farklı toprak koşullarında başarıyla yetişen ve yetiştirilen, Türkiye'nin de en önemli hızlı gelişen ağaç türüdür. Sadece Türk ormancılığında değil, yabancı kaynaklarda da son dönemde Türk Çamı - Türk Kızılçamı olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Deniz seviyesinden 1000-1200 m yüksekliğe kadar meşcere kuruluşu yaparak yayılış gösterir. Dikey yayılışında 1500 metreye kadar çıkar (URL-1, 2014).

Yukarıda da değindiğimiz gibi kızılçamın ası yayılış alanı Türkiye'dir. Küçük gruplar meşcereler (bükler) halinde Filistin, Ürdün, Suriye, Irak, Lübnan, Yunan adaları, İtalya ve Kıbrıs'ta yayılış göstermektedir (Kayacık, 1965; Arbez, 1974).

Yayılışının en batı boylamı ise, İtalya'nın Kalabriya Yarımadasıdır. Bu nedenle bazı İngilizce adlandırmalarında "Calabrian cluster pine" şeklinde bu yarımadanın adı ile de anılır. Türkiye'de en geniş yayılışını Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgelerinde yapmaktadır. Ayrıca Karadeniz sahilleri boyunca örneğin Sinop Çam gölü yöresinde küçük adacıklar halinde de doğal yayılışı bulunur. Yine Karadeniz'e dökülen (Kızılırmak, Yeşilirmak, Sakarya, vb.) ırmakların ve kollarının vadileri boyunca, oldukça içerilere kadar, İç Anadolu'ya doğru sarkan yayılışları bulunur (Ankara-Bey pazarı, Eskişehir-Sarıcakaya, Tokat-Turhal, Amasya-Göynücek ve Amasya-

Aydınca, vb. örneklerde olduğu gibi). Girit ve Kıbrıs adaları ile Ege adalarının tamamında da yaygın yayılışı bulunur (Dağdaş, 1998).

Dünyada en geniş ve verimli yayılış sahaları Türkiye topraklarında bulunan kızılçam, bu özelliğinden dolayı yerli ve yabancı İngilizce yayınlarda son dönemde genel olarak Türk kızılçamı (Turkish red pine) olarak adlandırılmaktadır. Son envanter verileri ışığında Türkiye’de 3.207.914 ha’ı verimli, 2.646.759 ha’ı verimsiz orman olmak üzere toplam 5.854.673 hektara ulaşan doğal yayılışı bulunmaktadır (OGM - Türkiye Orman Varlığı-2012).

#### **4.1.2. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*)**

Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), kayıngiller (Fagaceae) familyasından 40 m’ye kadar boylanabilen 2 m’ye kadar çap yapabilen düzgün gövdeli kayın türüdür. Çok sayıda pullarla örtülmüş bulunan iğ biçimindeki sivri uçlu ve büyük tomurcuklar sürgünlere açı yapacak şekilde dizilmiştir. Sürgünler koyu kahverenginde veya kırmızımtrak kaverenginde olup oldukça ince, çıplak veya parlak, sürgün ucuna doğru hafif tüylü olup üzerinde bol sayıda küçük lentiseller bulunur. Bulgaristan, Türkiye, Kafkasya ve İran’da doğal yayılım gösterir. Türkiye’de ise özellikle Karadeniz kıyılarında yaygın olarak yetişir. Karadeniz kıyılarına paralel olarak uzanan dağların orta ve yüksek bölümlerinde, kuzeye bakan yüzlerinde sık ve karışık ormanlar kurar (Anonim, 2015).

#### **4.1.3. Lifiendirme ve Levha Üretim Üniteleri**

##### **4.1.3.1. Laboratuvar tipi buhar jeneratörü**

Bu ekipman, odun yongasına buharla ön işlem yapılacağı için ihtiyaç duyulan 8 bar basınçtaki buharın üretimi için kullanılmıştır. 10 bar basınçta, 250 kg/saat buhar üretebilmekte olup, ısıl gücü 150.000 kcal/saat’tir. Doğal gaz brulörü ile çalışmaktadır. Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Laboratuvarı’nda bulunan cihaz Şekil 4.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Laboratuvar tipi buhar jeneratörü (Foto: Başarır, 2015)

#### ***4.1.3.2. Laboratuvar ölçekli ön işlem ünitesi***

Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Laboratuvarı'nda bulunan cihaz (Şekil 4.2.), odun yongasına fabrika üretimine uygun bir şekilde hem düşük basınçta (1-3 bar), hem de yüksek basınçta (7-10 bar) buhar ile ön işlem yapılması için kullanılacaktır. Kimyasallarla ön muamele edilecek odun yongalarının yüksek sıcaklık ve basınç ortamında bekletilmesini sağlayacaktır.



Şekil 4.2. Laboratuvar tipi ön işlem ünitesi (Foto: Başarır, 2015)

#### ***4.1.3.3. Laboratuvar tipi liflendirme rafinörü***

Bu donanım, odun yongasının liflendirilmesinde kullanılacak olan mekanik liflendirme makinesidir (Şekil 4.3). Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi bünyesindeki Liflendirme Laboratuvarı'nda bulunmaktadır. Modeli Universal

Engineering Corporation olup, Hindistan'da üretilmiştir. 12 inch disk çapına sahip olup, rafinör disklerini döndüren motor 18,5 kwh'dir. Yüksek basınçlı buhar ve kimyasal ile ön muamele edilecek odun yongalarını liflendirmek için kullanılmıştır. Liflendirme esnasında rafinörün motorunun çektiği elektrik enerjisi bir analizör ile ölçülmüştür.



Şekil 4.3. Laboratuvar tipi liflendirme rafinörü (Foto: Başarır, 2015).

#### ***4.1.3.4. Laboratuvar tipi tutkallama mikseri***

Liflevha üretimi için liflere tutkal ve parafin uygulaması, Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ahşap Levha Üretim Laboratuvarı'nda Şekil 4.4.'deki tutkallama mikseri kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.4. Laboratuvar tipi tutkallama mikseri (Foto: Başarır, 2015)

#### 4.1.3.5. Laboratuvar tipi hidrolik pres

Levha üretimi Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 4.5.'deki Cemil Usta marka hidrolik pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5. Cemil usta marka hidrolik pres (Foto: Başarır, 2015).

#### 4.1.4. Okzalik Asit

Okzalik asit ( $H_2C_2O_4$ ) formülüne sahip bir organik asittir. İsmi ilk defa bulunduğu yoncadan almıştır. Zayıf asit özelliği gösterir. Sadece birbirine bağlı iki karboksil kökünden oluşur. Bu nedenle dikarboksilik asit sınıfında olup, renksiz kristal formda bulunur. Birçok bitkisel kaynaktan (kuzukulağı, domates, ıspanak, vb.) bulunur. Sulu çözeltisinde, suya iki adet ( $H^+$ ) iyonu bıraktığından çift pKa değerine ( $pK_{a1}=1,46$ ,  $pK_{a2}=4,40$ ) sahip olan bir zayıf asittir (0,1 M sulu çözeltisinin pH değeri 1,3). Deneylerde kullanılacak okzalik asit San-Tez proje kapsamında BRP Taahhüt Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir.

#### 4.1.5. Sülfamik Asit

Sülfamik asit, kimyasal formülü  $H_3NO_3S$  olan, renksiz ve suda çözünebilen bir tür zayıf asittir. pKa değeri 1,0' dir. Bu özelliği ile okzalik asitin muadili bir inorganik asittir. Literatürde kullanımına rastlanılmamasına rağmen bu maddenin laboratuvar ölçeğinde yapılacak denemelerde kullanılmasına karar verilmiştir. Deneylerde kullanılacak sülfamik asit San-Tez proje kapsamında BRP Taahhüt Tic.Ltd.Şti.'den temin edilmiştir.

#### 4.1.6. Hidrojen Peroksit

Kimyasal formülü  $H_2O_2$ 'dir. Renksiz sıvı formdadır. Tek bağlı oksijenlerin varlığında en basit peroksit üyesidir. Güçlü bir oksitleyici, bir ağartma maddesi ve dezenfektan olarak kullanım alanı bulur. Deneylerde kullanılacak hidrojen peroksit San-Tez proje kapsamında BRP Taahhüt Tic.Ltd.Şti.'den temin edilmiştir.

#### 4.1.7. Demir Sülfat

Kimyasal formülü  $Fe_2(SO_4)_3$ 'dür. Genellikle sarı renkli eşkenar paralel bir kristal tuz formunda olup, oda sıcaklığında suda çözünür. Boya sektöründe renk sabitleştirici olarak kullanılır. Pigmentlerde de kullanılır. Ayrıca alüminyum ve çelik asit temizleme banyolarında kullanıldığı bilinmektedir. Deneylerde kullanılacak demir sülfat San-Tez proje kapsamında BRP Taahhüt Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir.

#### 4.1.8. Üre Formaldehit Reçinesi

Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Deneme üretimlerinde kullanılan üre formaldehit reçinesinin özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Üre formaldehit reçinesinin özellikleri.

Ürün Karakteristiği	Birimi	Ölçüm Değeri
Ürün Adı: Üre formaldehit reçinesi		
Görünüş		Temiz, Beyaz sıvı
Katı Madde	%	55
Formaldehit / Üre Mol Oranı		1,17
Yoğunluk ( 20 C° )	gr/cm <sup>3</sup>	1,232
Vizkosite ( 20 C° )	cps	50
Akma Zamanı ( 20 C° , FC4 )	sn.	15
Jelleşme Zamanı ( 100 C° ) (%10 luk NH <sub>4</sub> Cl)	sn.	30 – 40
Ph		7,7 – 8,7
Depolama Zamanı (20 C° , gün)	gün	45

#### 4.1.9. Amonyum Klorür

Sertleştirici olarak Amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) kullanılmıştır. %10'luk sulu çözelti halinde uygulanmış olup, tutkalın katı madde miktarına göre %1 oranında katı madde içerecek şekilde kullanılmıştır. As Kimya'dan tedarik edilmiştir. Deneylerde kullanılan %10'luk amonyum klorür çözeltisinin özellikleri Tablo 4.2.'de belirtilmiştir.

Tablo 4.2. Sertleştiricinin (Amonyum Klorür) özellikleri.

Ürün Karakteristiği	Birimi	Ölçüm Değeri
Ürün Adı: Sertleştirici		
Görünüş		Kirli beyaz
Katı Madde	%	10
Yoğunluk	$\text{gr/cm}^3$	1,02
Yapı		Kristal taneli

#### 4.1.10. Parafin

Hidrofobik madde olarak %60'luk parafin emülsiyonu kullanılmış olup, Mercan Kimya firmasından temin edilmiştir. Kuru life %1 oranında parafin uygulaması yapılmış olup, deneylerde kullanılan parafin emülsiyonunun özellikleri Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Parafin emülsiyonunun özellikleri

Ürün Karakteristiği	Birimi	Ölçüm Değeri
Ürün Adı: Parafin		
Görünüş		Krem
Katı Madde	%	60
Ph		7
Erime Noktası	$^{\circ}\text{C}$	54 – 56
Yağ Oranı	%	1,5 max.

## 4.2. Metot

### 4.2.1. Odun Yongalarının Hazırlanması

Liflevha üretiminde en yaygın kullanılan yongalayıcı tipi tambur tipi yongalayıcılardır (Şekil 4.6.). 4 adet bıçak bulunmaktadır. Bıçakların bağlı bulunduğu tamburun altında bir elek bulunmaktadır. Bu elek ölçülerine ulaşan kadar yongalar dairesel hareketle kesme etkisine maruz kalarak, ideal ölçülere ulaşıncaya eleğin gözünden geçerler. Endüstride kullanılan ideal yonga boyutları, yonga uzunluğu 16-25 mm, yonga genişliği 19-20 mm ve kalınlığı 3-5 mm olmalıdır. Lif veriminin yüksek olması ve kaliteli lif üretimi için odunun yongalanması esnasında zedelenmemesi ve yonga kalınlığının düzenli olması önem taşır (Eroğlu, 1988). Levha üretimlerinde kullanılmak üzere Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. Kastamonu Liflevha tesislerinde bulunan endüstriyel ölçekli tambur tipi yongalayıcı ile üretilmiş Kızılçam (*Pinus brutia*) ve Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) yonga örnekleri Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Tambur tipi yongalayıcı (URL-2, 2018).



Şekil 4.7. Kızılçam (sağ) ve Doğu kayını (sol) yonga örnekleri (Foto: Başarır, 2015).

#### 4.2.2. Deneme Planı

Laboratuvar ölçeğindeki deneme üretimleri için gerekli üretim parametreleri literatür çalışmalarından ve sanayi ölçekli üretimden edinilen bilgiler çerçevesinde hazırlanmış olup, Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. *Laboratuvar deneylerinde uygulanan deneme düzeni.*

Levha Grubu	Odun Türü	Ön muamelede kullanılan kimyasal	Kimyasal Oranı (%)	Ön Muamele Sıcaklığı (°C)
1	%100 Kayın	Kontrol	-	75
2	%100 Kayın	Kontrol	-	100
3	%100 Kayın	Okzalik Asit	0,1	100
4	%70 Kayın + %30 Çam	Kontrol	-	75
5	%70 Kayın + %30 Çam	Kontrol	-	100
6	%70 Kayın + %30 Çam	Okzalik Asit	0,1	100
7	%100 Çam	Kontrol	-	75
8	%100 Çam	Kontrol	-	100
9	%100 Çam	Okzalik Asit	0,1	100
10	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,1	100
11	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,2	100
12	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,3	100
13	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit	0,1	100
14	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit	0,2	100
15	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit	0,3	100

Yukarıdaki tablodan görüleceği üzere bu yüksek lisans tez çalışmasında ön muamele sıcaklığı 75°C ve 100°C olarak seçilmiştir. Bu değerlerin seçilmesindeki ana unsur, ülkemizdeki Liflevha üretim tesislerinin yaklaşık 50°C-75°C aralığında çalışmasıdır. Ön muamele sıcaklığının 100°C' ye çıkarılması suretiyle sıcaklığın liflendirme prosesindeki enerji tüketimine etkisi incelenmiştir.

Kimyasal madde kullanım oranı %0,1 olarak uygulanmıştır. Çünkü konu ile ilgili yapılan benzer çalışmalarda yaklaşık olarak bu değer kullanıldığı görülmüştür.

%70 Kayın+%30 Çam odun karışım oranları endüstride çokça kullanılmaktadır. Önceki yapılan deneysel çalışmalarda bu karışım oranının pek denenmediği görülmüştür. Bu çalışmada sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfat'la yapılan denemelerde kimyasal madde kullanım oranı %0,1'den %0,2 ve %0,3'e arttırılmıştır. Bunun sebebi sülfamik asitle yapılan çalışmalara rastlanamamış olmasıdır.

#### 4.2.3. Liflendirme

Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Liflendirme Laboratuvarı'nda bulunan düzeneklerin kullanımı ile odun yongaları Tablo 4.1.'de ifade edilen deneme düzenine sadık kalmak suretiyle liflendirilmiştir. Odun yongaları laboratuvar tipi ön işlem ünitesinde 75-100°C sıcaklık aralığında, 10 dakika düşük basınçlı (1-2 bar) buharla ön ısıtma işlemine maruz bırakılmıştır. Daha sonra bu yongalar, buhar basıncının 8 bara çıkarılmasıyla, 180°C sıcaklık ve 5 dakika süreyle pişirme işleminde bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda pişirme kazanındaki buhar hızlıca tahliye edilerek, kazandaki yongalar boşaltılmıştır. Hemen akabinde liflendirme rafinöründe liflendirilmiştir. Liflendirme işlemi sırasında rafinör motorunun elektrik enerjisi kullanımı sisteme entegre edilen analizör yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 4.8. Laboratuvar tipi liflendirme rafinöründe üretilen lifler (Foto: Başarır, G.)

#### 4.2.4. Tutkallama

Elde edilen lifler iklimlendirme odasında 35°C sıcaklık ve %25 bağıl nemde  $\pm 2$  rutubete kadar kurutulduktan sonra, Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Ahşap Levha Üretim Laboratuvarı'nda bulunan tutkallama karıştırıcısında 170 kg/m<sup>3</sup> sabit tutkal miktarı uygulanarak tutkallanmıştır. Sertleştirici olarak %10'luk amonyum klorür (NH<sub>4</sub>Cl) çözeltisi kullanılmış olup, tutkalın katı madde miktarına göre %1 oranında katı madde içerecek miktarda tutkal çözeltisine karıştırılmıştır. Ayrıca kuru lif miktarına %1 oranında parafin uygulaması da bu karıştırıcı kullanılarak yapılmıştır.

#### 4.2.5. Deney Levhalarının Oluşturulması

Tutkallama işleminden sonra lifler, levha yoğunluğu 0.75 g/cm<sup>3</sup> olacak şekilde 40×40 cm ebatlarında mümkün olan en homojen biçimde elle serme işlemi yapıldıktan sonra preslenmiştir. Laboratuvar ölçekli preste 175°C sıcaklıkta, 5 dakika süreyle 34 kg/cm<sup>2</sup> spesifik basınç altında 12 mm kalınlıkta Liflevha deney levhaları üretilmiştir. Her bir deney tipi için 2 adet levha üretilmiştir. Toplamda 30 adet levha üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9. Levha taslağı (Foto: Başarır, G.)



Şekil 4.10. Üretimi yapılan LİFLEVHA deney levhaları (Foto: Başarrı, G.).

#### 4.2.6. Levha testlerinin yapılması

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında, üretilen deney levhalarının bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal testleri ilgili ulusal ve uluslararası standartlara göre yapılmıştır. Böylece liflendirme öncesi ön muamele işleminin bu özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Levhaların yoğunluk, rutubet miktarı, kalınlığına şişme ve su alma miktarı, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, levha yüzeyine dik çekme direnci (yapışma direnci) ve yüzey sağlamlığı deneyleri Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş.'nin Kastamonu ilindeki LİFLEVHA tesislerinde bulunan Kalite Laboratuvarı'nda ilgili standartlara göre yapılmıştır.

##### 4.2.6.1. Yoğunluk tayini

Klimatize edilmiş 50 mm × 50 mm × levha kalınlığı (mm) boyutlarındaki örneklerin ağırlığı, kalınlığı ve iki kenar genişliği ölçülerek TS EN 323'te belirtilen aşağıdaki formül kullanılarak yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$P = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t}$$

P= Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)

m= Numunenin ağırlığı (g)

b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, t = Numunenin boyutları (mm)

#### **4.2.6.2. Rutubet tayini**

TS EN 322'ye göre rutubet tayini testleri yapılmıştır. 50 mm × 50 mm boyutlarında kesilen levha numuneleri ağırlıkları hassas terazide ölçüldükten sonra 103±2 °C' deki etüvde sabit ağırlığa gelene kadar bekletilmiştir. 6 saat ara ile yapılan tartmalarda, birbirini izleyen iki tartım arasındaki kütle farkının, deney parçası kütlelerinin 0,01'inden fazla olmaması durumuna geldiğinde, bu kütle değişmez kütle olarak kabul edilir. Daha sonra deney örnekleri kurutma fırınından çıkarılarak desikatörde soğutulduktan sonra 0,01 g duyarlılıkta terazide tartılmıştır. Aşağıdaki formülün kullanımıyla rutubet değerleri hesaplanmıştır.

$$R = \frac{m_1 - m_0}{m_0}$$

R= Rutubet miktarı (20±2 °C ve %65 bağıl nemdeki denge rutubeti) %

m1= Klimatize edilen numunenin ağırlığı (g)

m0 = Tam kuru numunenin ağırlığı (g)

#### **4.2.6.3. Kalınlığına şişme miktarı**

TS EN 317 (1999)'da belirtildiği gibi 50 mm × 50 mm × levha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan numuneler orta noktalarından 0,01 mm hassasiyetli mikrometre ile ölçüldükten sonra, su yüzeyinden 25 ± 5 mm aşağıda tutularak 20 ± 1°C' deki su banyosunda 24 saat süreyle bekletilmişlerdir. Süre bitiminde banyodan çıkarılan örneklerin orta noktaları aynı hassasiyetle kalınlıkları ölçülerek aşağıdaki formül kullanımıyla kalınlığına şişme miktarları hesaplanmıştır.

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

Gt = Kalınlığına şişme miktarı (%)

t2 = Sudan çıkarılan numunenin kalınlığı (mm)

t1= Numunenin ilk kalınlığı (mm)

#### 4.2.6.4. Su alma miktarı

ASTM D1037-12 (2012)'de belirtildiği gibi 50 mm × 50 mm × levha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan numuneler ağırlıkları tartıldıktan sonra, 20 ± 1 °C' deki su banyosunda 24 saat süreyle bekletilmişlerdir. Süre sonunda banyodan çıkarılan örneklerin ağırlıkları tartıldıktan sonra aşağıdaki formülün kullanımı ile su alma değerleri hesaplanmıştır

$$a = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

Sa= Su alma değeri (%)

t1 = Numunenin ilk ağırlığı (mm)

t2 = Numunenin suya daldırıldıktan sonraki ağırlığı (mm)

#### 4.2.6.5. Eğilme direnci

Eğilme direnci deneyleri TS EN 310 (1999) standardına uygun olarak yapılmıştır. Örnek boyutları 240 × 50 × 12 (levha kalınlığı) mm olarak alınmıştır. Deney parçaları % 65 ±5 °C nisbi rutubet ve 20 ±2 °C sıcaklık şartlarında değişmez kütleyle ulaşınca kadar klimatize edildikten sonra 24 saat ara ile yapılan tartmalarda birbirini izleyen iki ölçme arasında kütle farkının, deney parçası kütlesinin 0,1'inden fazla olmaması durumuna geldiğinde, bu kütle değişmez olarak kabul edilmiştir. Aşağıdaki formül kullanılarak eğilme direnci değerleri hesaplanmıştır.

$$E = \frac{3 \times F_{\max} \times L}{2 \times b \times d^2}$$

E= Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>)

F<sub>max</sub>= Kırılma anındaki kuvvet (N)

L= Dayanak açıklığı (mm)

b= Numunenin genişliği (mm)

d= Numunenin kalınlığı (mm)

#### 4.2.6.6. Eğilmede elastikiyet modülü

Eğilmede elastikiyet modülü deneyleri TS EN 310 (1999) standardına uygun olarak yapılmıştır. Örnek boyutları  $240 \times 50 \times 12$  (levha kalınlığı) mm olarak alınmıştır. Deney parçaları  $\%65 \pm 5^\circ\text{C}$  nisbi rutubet ve  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık şartlarında değişmez kütleye ulaşınca kadar klimatize edildikten sonra 24 saat ara ile yapılan tartmalarda birbirini izleyen iki ölçme arasında kütle farkının, deney parçası kütlesinin  $\%0,1$ 'inden fazla olmaması durumuna geldiğinde, bu kütle değişmez olarak kabul edilmiştir. Aşağıdaki formül kullanılarak eğilme direnci değerleri hesaplanmıştır.

$$E_m = \frac{F \times L^3}{4 \times \delta_e \times b \times d}$$

$E_m$ = Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>)

F= Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

L= Dayanak noktaları arası açıklık (mm)

$\delta_e$ = Eğilme miktarı (mm)

b= Numune genişliği (mm)

d= Numune kalınlığı (mm)

#### 4.2.6.7. Levha yüzeyine dik çekme direnci (Yapışma direnci)

Levha yüzeyine dik çekme direnci deneyleri TS EN 319 (1999)'da belirtildiği gibi yapılmış olup, aşağıdaki formülün kullanımı ile direnç değerleri hesaplanmıştır.

$$F_t = \frac{F_{\max}}{a \times b}$$

$F_t$  = Yüzeye dik çekme direnci (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{\max}$ = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

a= Numunenin uzunluğu (mm)

b= Numunenin genişliği (mm)

#### **4.2.6.8. Yüzey sağlamlığı**

Yüzey sağlamlığı testi, TS EN 311 (2005)'e göre yapılmıştır. 50 mm × 50 mm × levha kalınlığı (mm) boyutlarında kesilen numunelerin yüzeyine yuvarlak bir oyuk (1000 mm<sup>2</sup> alan) açılarak, kulplu metal bir yastık ile yapıştırılmıştır. Kuvvet uygulanarak bu yastık yüzeyden koparılmıştır. Ardından aşağıdaki formülün kullanımı ile yüzey sağlamlığı değeri hesaplanmıştır.

$$S_s = \frac{F}{A}$$

S<sub>s</sub>= Yüzey dayanıklılığı (N/mm<sup>2</sup>)

F= Uygulanan en yüksek kuvvet (N)

A= Yüzey alanı (1000 mm<sup>2</sup>)

#### **4.2.6.9. İstatiksel değerlendirme**

Kimyasal ile ön muamele edilmiş veya edilmemiş odun yongalarının liflendirilmesi esnasında rafinör motorunun elektrik enerjisi tüketimleri, elde edilen liflerin morfolojik özellikleri ve bu lifler ile yapılan levhalara yapılan yoğunluk tayini, rutubet tayini, kalınlığına şişme ve su alma miktarı, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, levha yüzeyine dik çekme direnci ve yüzey sağlamlığı sonuçları tablolar halinde verilmiştir. İstatistik değerlendirmeler SPSS istatistik programı kullanılarak yapılmıştır. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığı faktörlerine göre elde edilen verilerin değerlendirilmesinde ve aralarında anlamlı bir farklılık olup olmadığının araştırılması amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonucunda önemli çıkan (önem düzeyi ≤ 0.05) faktörlerin kendi içinde farklılıkları ise Duncan test yöntemi ile homojen gruplar oluşturularak karşılaştırılmıştır.

## 5. BULGULAR

Laboratuvar ölçeğinde yapılan denemeler neticesinde üretilen liflevhalar üzerinde ilgili ulusal ve uluslararası standartlara göre test ve analizler yapılarak aşağıda ifade edilmiştir.

### 5.1. Kimyasal Ön İşlem Sonrası Yongalara Ait Bulgular

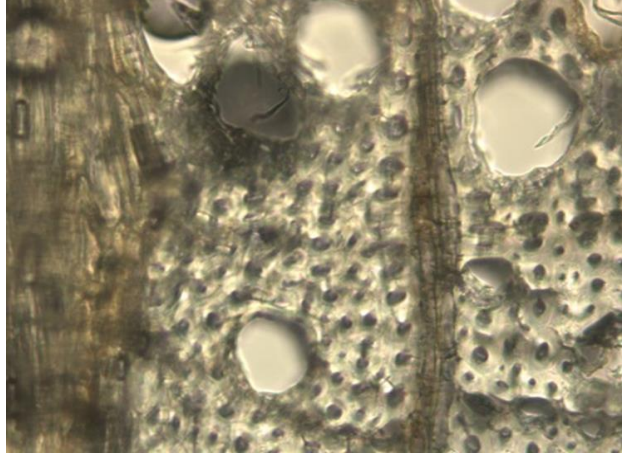
Öncelikle denemelerde kullanılacak tüm kimyasalların %5'lik sulu çözeltileri hazırlanmıştır. Tabloda belirtilen kimyasal konsantrasyon oranı, katı kimyasal miktarının kuru odun miktarına yüzde oranıdır. Bu oranda tartılan %5'lik kimyasal çözeltileri liflendirme işlemi yapılacak odun yongalarının üzerine spreyleme yoluyla püskürtülmüştür. Daha sonra bu odun yongaları laboratuvar ölçekli ön işlem ünitesine yerleştirilmiştir. Tablo 5.1.'deki deneme düzenine göre 75-100°C sıcaklıklarda 10 dakika süreyle ön buharlama yapılmıştır. Sonrasında pişirme kazanı buhar basıncı hızlıca 8 bar değerine getirilmiştir. Tablo 4.1.'de ifade edilen deneme düzeninin dışında kimyasal madde kullanım oranlarında bir miktar artış yapılmıştır. Bu tercihteki amaç, okzalik asit, sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfat miktarının hücre çeperinde oluşturacağı tahribatın ölçeğinin ortaya konulmasıdır. Bu basınçta 180°C'de 5 dakika pişirme süresi sabit olacak şekilde odun yongaları buharlama işlemine tabi tutulmuştur. Buharla pişirme süresi bitiminde buhar hızlıca boşaltılarak yongalar pişirme kazanından alınmıştır. Bu yongalardan Kastamonu Üniversitesi Biyoloji Laboratuvarı'nda bulunan mikrotom cihazı kullanılarak üç yönde (enine, radyal ve teğet) kesitler alınmıştır. Bu kesitlerden görüntüleme yapabilmek amacıyla preparatlar hazırlanmıştır. Hazırlanan preparatlar Kastamonu Üniversitesi Biyoloji Laboratuvarı'nda bulunan Leica marka ışık mikroskopunda incelenmiş ve tüm örneklerden fotoğraf alınmıştır. Kimyasal madde uygulaması yapılmış odun yongalarının hücre çeper yapılarında meydana gelen fiziksel değişimler, görüntülenmiş ve Şekil 5.1.'den – Şekil 5.17'ye kadar gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Mikroskopik görüntüler için örnek hazırlama düzeni.

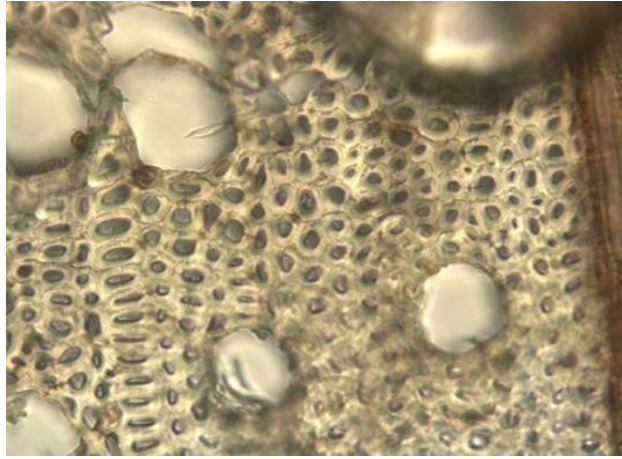
Lab. Tipi	Odun Türü	Ön Muamelede Kullanılan Kimyasal	Kimyasal Konsantrasyonu (%)	Ön Muamele Sıcaklığı (°C)
1	Kayın	-	-	-
2	Kayın	-	-	75
3	Çam	-	-	-
4	Çam	-	-	75
5	Kayın	Okzalik Asit	%0,1	75
6	Kayın	Okzalik Asit	%0,3	75
7	Çam	Okzalik Asit	%0,1	75
8	Çam	Okzalik Asit	%0,3	75
9	Kayın	Sülfamik Asit	%0,1	75
10	Kayın	Sülfamik Asit	%0,3	75
11	Çam	Sülfamik Asit	%0,1	75
12	Çam	Sülfamik Asit	%0,3	75
13	Kayın	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	%0,1	75
14	Kayın	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	%0,3	75
15	Çam	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	%0,1	75
16	Çam	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	%0,3	75

### 5.1.1. Kimyasal İle Ön Muamele İşlemi Uygulanmamış Odun Yongalarının Mikroskopik Görüntüsü

Ön muamele işlemi yapılmamış (kontrol grubu) Doğu kayını odunu yongası ile 75°C sıcaklıkta 10 dakika ön buharlama sonrasında 5 dakika süre ile 180°C sıcaklıkta buharlama işlemine tabi tutulmuş yongaya ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.

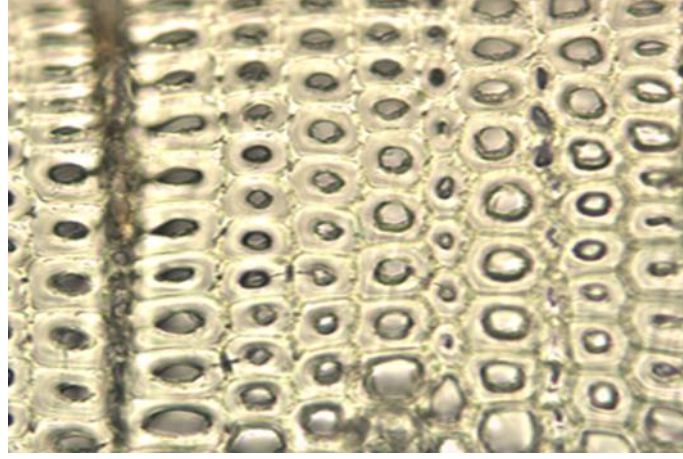


Şekil 5.1. Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) odununa ait mikroskop görüntüleri (enine kesit).

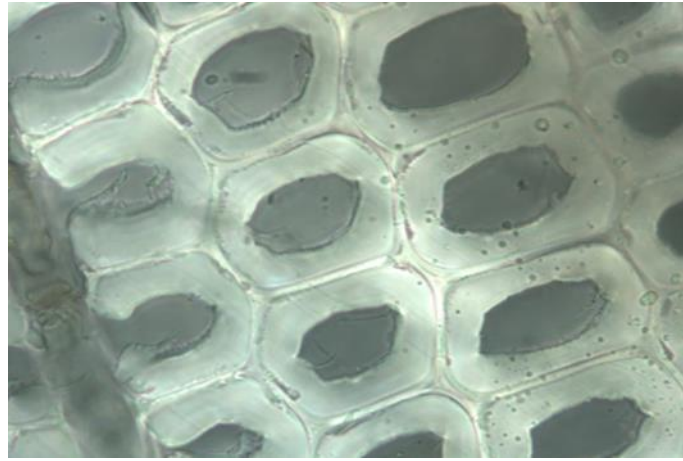


Şekil 5.2. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) odununa ait buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

Ön muamele işlemi yapılmamış (kontrol grubu) Kızılçam odunu yongası ile 75 °C sıcaklıkta 10 dakika ön buharlama sonrasında 5 dakika süre ile 180 °C sıcaklıkta buharlama işlemine tabi tutulmuş yongaya ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



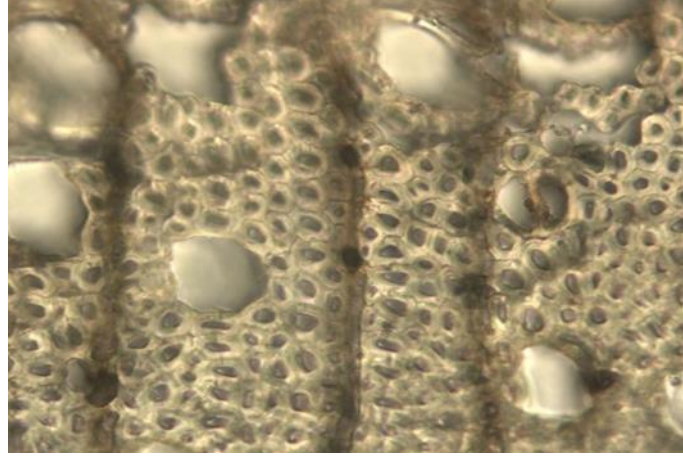
Şekil 5.3. Kızılçam (*Pinus brutia*) odununa ait mikroskop görüntüleri (enine kesit).



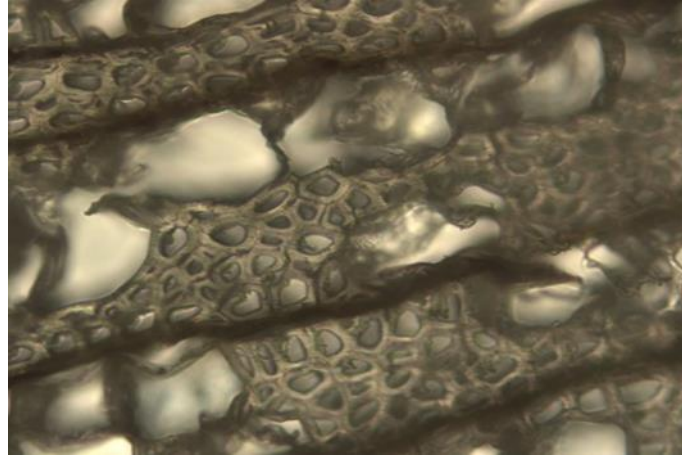
Şekil 5.4. Kızılçam (*Pinus brutia*) odununa ait buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

### **5.1.2. Okzalik Asit İle Ön Muamele İşlemi Sonrası Odun Yongalarının Mikroskopik Görüntüsü**

Okzalik asit ile 75°C sıcaklıkta 10 dakika ön muamele işlemi yapılmış (%0,1-%0,3 oranında) ve sonrasında 5 dakika süre ile 180°C sıcaklıkta buharlama işlemine tabi tutulmuş Doğu kayını odunu yongasına ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.

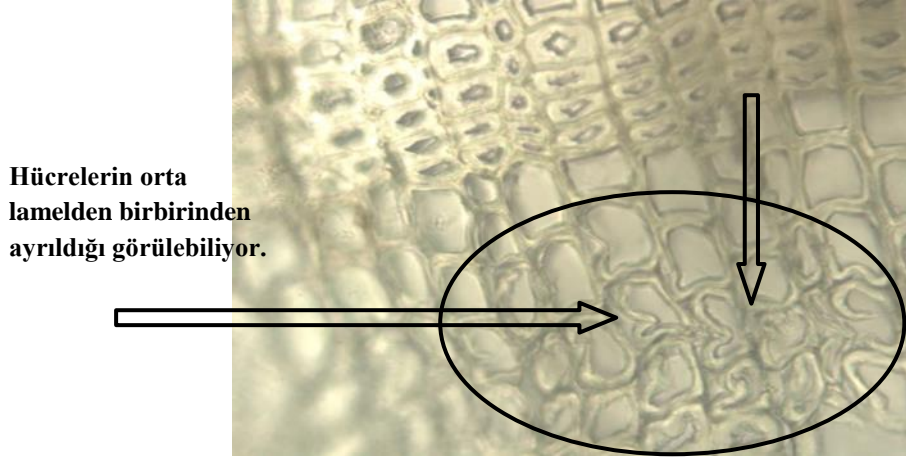


Şekil 5.5. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) odununa ait %0,1 okzalik asit ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

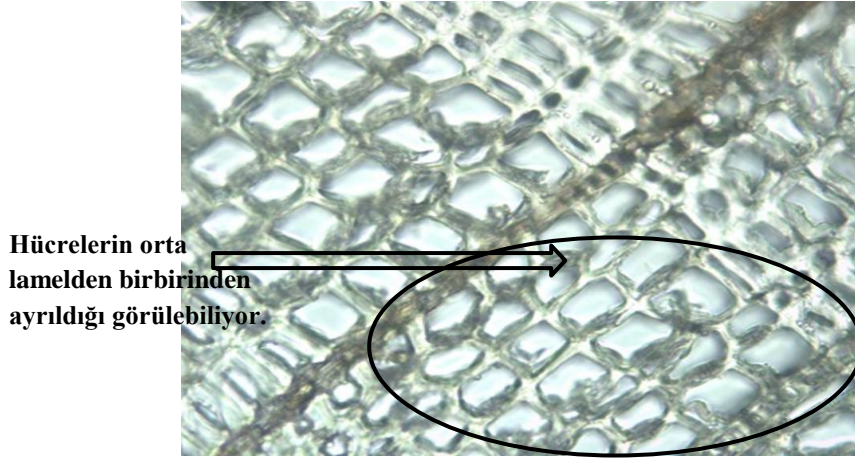


Şekil 5.6. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) odununa ait %0,3 okzalik ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

Okzalik asit ile 75°C sıcaklıkta 10 dakika ön muamele işlemi yapılmış (%0,1-%0,3 oranında) ve sonrasında 5 dakika süre ile 180°C sıcaklıkta buharlama işlemine tabi tutulmuş Kızılcım odunu yongasına ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



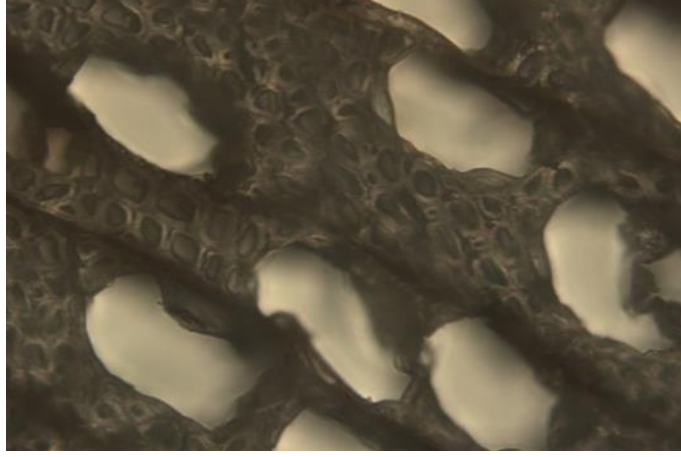
Şekil 5.7. Kızılcçam (*Pinus brutia*) odununa ait %0,1 okzalik asit ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).



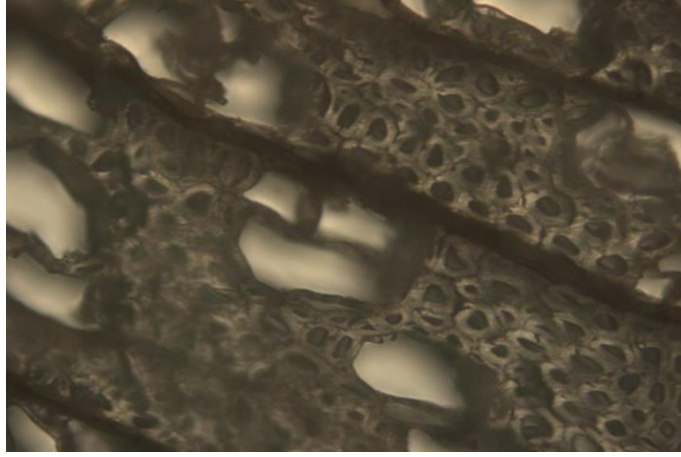
Şekil 5.8. Kızılcçam (*Pinus brutia*) odununa ait %0,3 okzalik asit ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

### 5.1.3. Sülfamik Asit İle Ön Muamele İşlemi Sonrası Odun Yongalarının Mikroskopik Görüntüsü

Sülfamik asit ile 75°C sıcaklıkta 10 dakika ön muamele işlemi yapılmış (%0,1-%0,3 oranında) ve sonrasında 5 dakika süre ile 180°C sıcaklıkta buharlama işlemine tabi tutulmuş Doğu kayını odunu yongasına ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da gösterilmiştir.

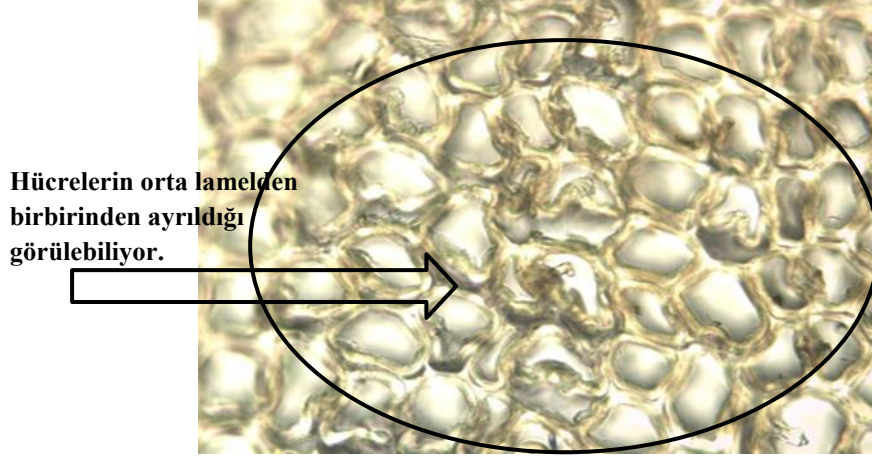


Şekil 5.9. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) odununa ait %0,1 sülfamik asit ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

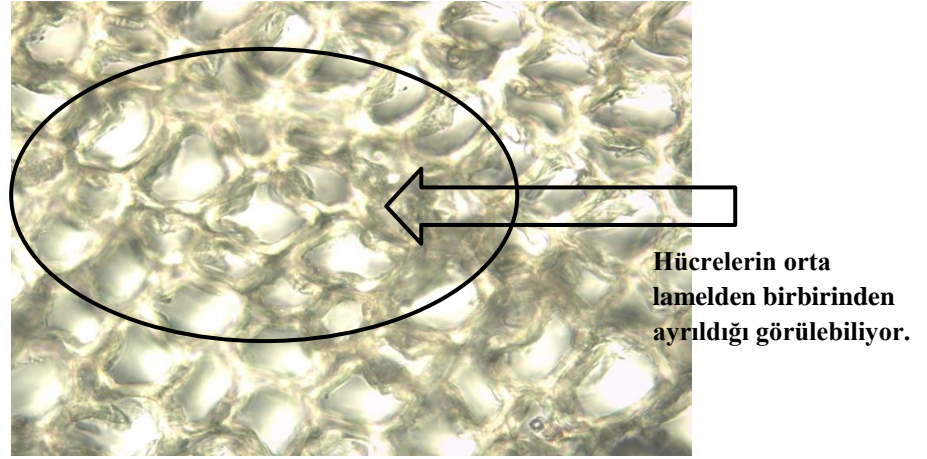


Şekil 5.10. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) odununa ait %0,3 sülfamik asit ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

Sülfamik asit ile 75°C sıcaklıkta 10 dakika ön muamele işlemi yapılmış (%0,1-%0,3 oranında) ve sonrasında 5 dakika süre ile 180°C sıcaklıkta buharlama işlemine tabi tutulmuş Kızılcım odunu yongasına ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.'de gösterilmiştir.



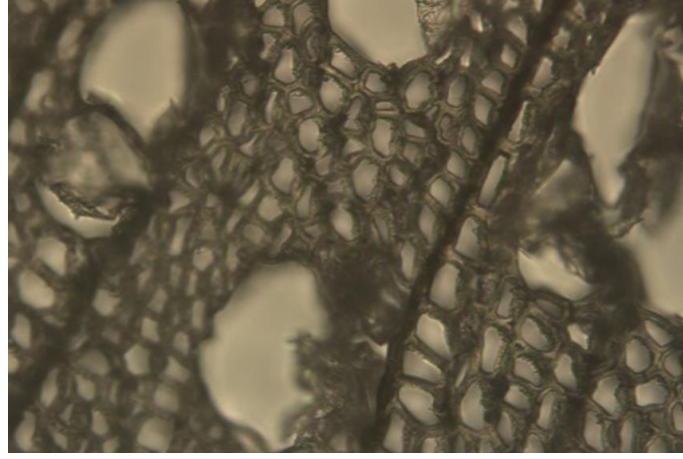
Şekil 5.11. Kızılçam (*Pinus brutia*) odununa ait %0,1 sülfamik asit ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).



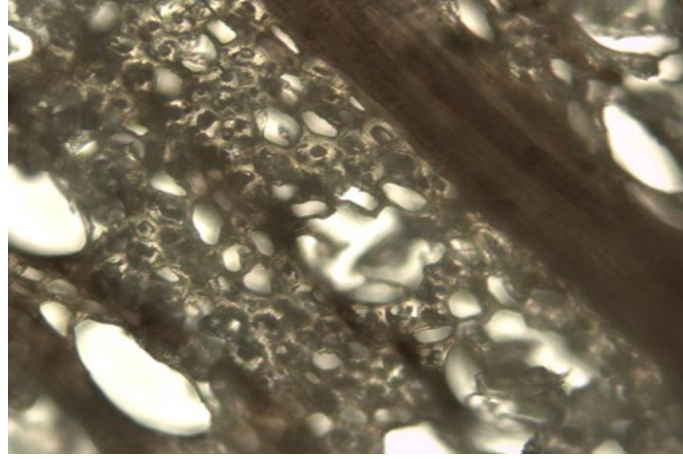
Şekil 5.12. Kızılçam (*Pinus brutia*) odununa ait %0,3 sülfamik asit ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

#### 5.1.4. Hidrojen Peroksit + Demir Sülfat İle Ön Muamele İşlemi Sonrası Odun Yongalarının Mikroskopik Görüntüsü

Hidrojen peroksit+demir sülfat ile 75°C sıcaklıkta 10 dakika ön muamele işlemi yapılmış (%0,1-%0,3 oranında) ve sonrasında 5 dakika süre ile 180°C sıcaklıkta buharlama işlemine tabi tutulmuş Doğu kayını odunu yongasına ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.'te gösterilmiştir.

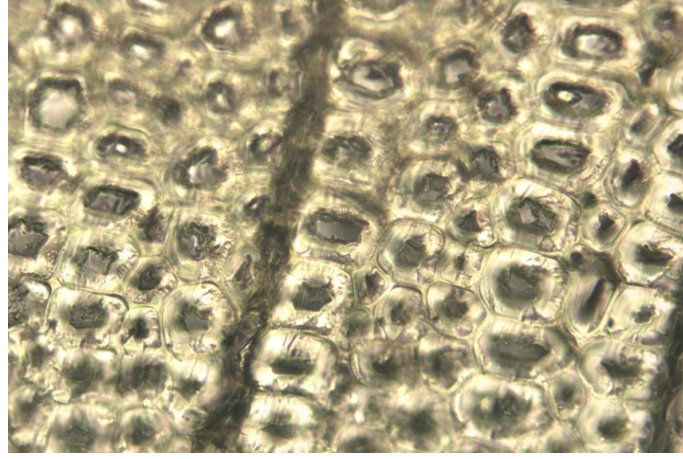


Şekil 5.13. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) odununa ait %0,1 hidrojen peroksit + demir sülfat ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

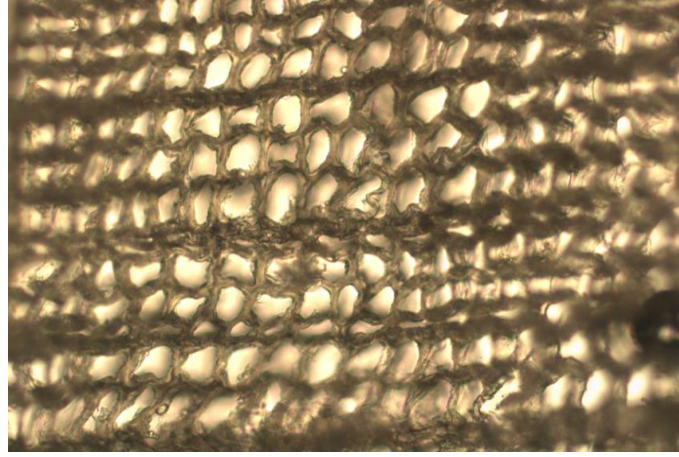


Şekil 5.14. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) odununa ait %0,3 hidrojen peroksit + demir sülfat ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

Hidrojen peroksit+demir sülfat ile 75°C sıcaklıkta 10 dakika ön muamele işlemi yapılmış (%0,1-%0,3 oranında) ve sonrasında 5 dakika süre ile 180°C sıcaklıkta buharlama işlemine tabi tutulmuş Kızılçam odunu yongasına ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.15. ve Şekil 5.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Kızılçam (*Pinus brutia*) odununa ait %0,1 hidrojen peroksit + demir sülfat ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).



Şekil 5.16. Kızılçam (*Pinus brutia*) odununa ait %0,3 hidrojen peroksit + demir sülfat ile ön işleme tabi tutulmuş ve buharla pişirme işlemi yapılmış yongaların mikroskop görüntüleri (enine kesit).

## 5.2. Lifiendirme Enerjisi Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarının Etkisi

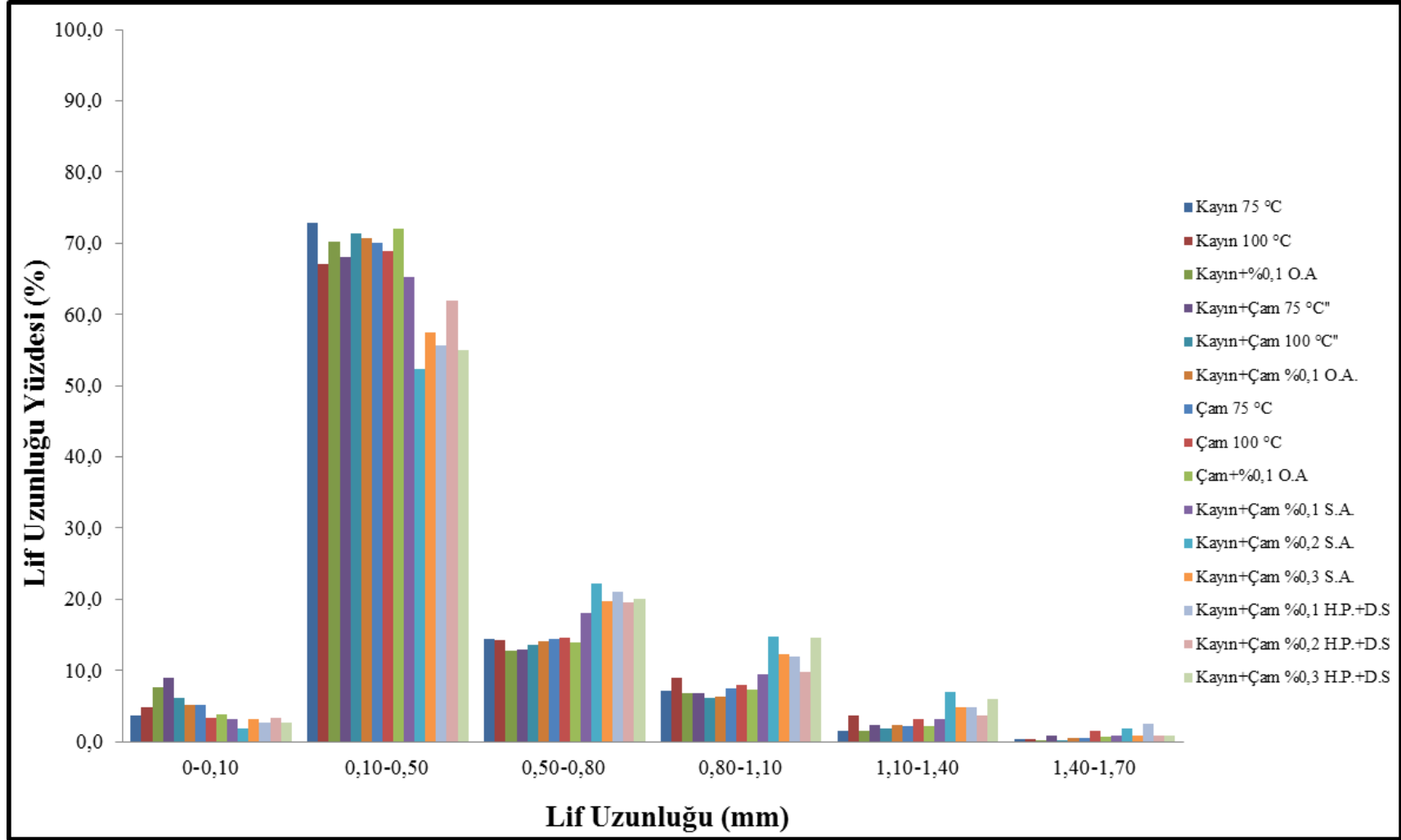
Farklı odun türü, farklı ön muamele kimyasalı, farklı kimyasal oranı ve farklı ön muamele sıcaklıklarında yapılan lif üretimlerinde liflendirme rafinörünün kullandığı elektrik enerjisi Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Liflendirme enerjisi tüketimleri.

Lab. Tipi	Odun Türü	Ön Muamelede Kullanılan Kimyasal	Kimyasal Oranı (%)	Ön Muamele Sıcaklığı (°C)	Rafinör Elektrik Enerjisi Tüketimi (kwh/ton)
1	%100 Kayın	Kontrol	-	75	2800
2	%100 Kayın	Kontrol	-	100	2800
3	%100 Kayın	Okzalik Asit	0,1	100	2800
4	%70 Kayın+%30 Çam	Kontrol	-	75	3100
5	%70 Kayın+%30 Çam	Kontrol	-	100	3100
6	%70 Kayın+%30 Çam	Okzalik Asit	0,1	100	2950
7	%100 Çam	Kontrol	-	75	3500
8	%100 Çam	Kontrol	-	100	3500
9	%100 Çam	Okzalik Asit	0,1	100	3050
10	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,1	100	2950
11	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,2	100	2950
12	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,3	100	2950
13	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	0,1	100	2950
14	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	0,2	100	2950
15	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	0,3	100	2950

### 5.3. Lif Boyutları Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarının Etkisi

Değişik odun türü yongaları üzerinde farklı ön muamele kimyasalları ve ön muamele koşullarının uygulanması neticesinde liflendirme prosesinde elde edilen liflere ait boyutsal veriler Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Lif boyutlarına ait grafik

#### 5.4. Kimyasal Ön İşlem Şartlarının Fiziksel ve Mekanik Performans Özelliklerine Etkisi

LİFLEVHA'lara ait yoğunluk, rutubet, kalınlığına şişme ve su alma miktarı ile bazı mekanik özelliklere ait veriler Tablo 5.3.'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Levhalara ait bazı fiziksel ve mekanik testlerin sonuçları.

Lap. Tipi	Odun Türü	Ön Muamelede Kullanılan Kimyasal	Kimyasal Oranı (%)	Ön Muamele Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Rutubet (%)	Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Yüze Dik Çekme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Yüzey dayanıklılığı (N/mm <sup>2</sup> )	24 Saatte Kalınlık Artışı (%)	Su alma 24h (%)
1	%100 Kayın	Kontrol	-	75	747	6,58	28,05	2951	1,10	1,17	11,02	28,47
2	%100 Kayın	Kontrol	-	100	745	6,62	29,28	2996	1,01	1,26	10,83	29,07
3	%100 Kayın	Okzalik Asit	0,1	100	751	6,52	28,30	2966	0,98	1,22	11,22	29,79
4	%70 Kayın+%30 Çam	Kontrol	-	75	743	6,55	29,55	3099	0,89	1,25	10,42	28,94
5	%70 Kayın+%30 Çam	Kontrol	-	100	750	6,62	30,16	3137	0,87	1,25	10,89	28,83
6	%70 Kayın+%30 Çam	Okzalik Asit	0,1	100	752	6,60	30,33	3164	0,93	1,22	10,21	28,26
7	%100 Çam	Kontrol	-	75	753	6,56	32,11	3182	0,79	1,25	10,58	27,97
8	%100 Çam	Kontrol	-	100	748	6,52	31,26	3207	0,77	1,28	10,36	28,17
9	%100 Çam	Okzalik Asit	0,1	100	746	6,54	31,37	3237	0,73	1,24	10,75	28,64
10	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,1	100	750	6,57	30,22	3040	0,84	1,23	10,48	29,09
11	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,2	100	753	6,59	29,18	2978	0,90	1,26	10,96	29,38
12	%70 Kayın+%30 Çam	Sülfamik Asit	0,3	100	746	6,58	28,85	2941	0,85	1,21	11,01	28,79
13	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	0,1	100	753	6,59	29,16	2969	0,88	1,30	10,81	29,66
14	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	0,2	100	746	6,57	30,29	3011	0,90	1,24	10,98	28,71
15	%70 Kayın+%30 Çam	Hidrojen Peroksit + Demir sülfat	0,3	100	750	6,51	29,62	2989	0,85	1,27	10,61	29,19

## 6. TARTIŞMA

### 6.1. Kimyasal Ön İşlem Sonrası Yongalara Ait Bulguların Tartışılması

Ön muamele işlemi görmüş odun yongalarına ait mikroskop ile elde edilen enine kesit görüntüleri dikkatli bir şekilde incelendiğinde, ön muamele işleminde kimyasal uygulaması ile özellikle Kızılçam (*Pinus brutia*) odunu hücre çeperlerinin birbirinden ayrıldığı rahatlıkla görülebilmektedir. Söz konusu bu deformasyon okzalik asit uygulaması için Şekil 5.7. ve 5.8.'de görülürken, sülfamik asit için Şekil 5.11. ve 5.12.'de görülmektedir. Diğer taraftan Şekil 5.15. ve 5.16.' da görüleceği üzere hidrojen peroksit+demir sülfat uygulamasında deformasyon tespit edilmemiştir. Odun yongaları okzalik asit ve sülfamik asitle ön muamele işlemine tabi tutulduğunda, hücreleri bir arada tutan bağların zayıfladığı ve koptuğu, özellikle bağlayıcı polimer olan hemiselülozların degrades olmasıyla hücrelerin birbirinden daha kolay ayrıldığı ve daha fazla şiştiği söylenebilir. Bu sebeple Kızılçam odunu yongalarının liflendirme işlemindeki elektrik enerjisi sarfiyatı düşmektedir. Kenealy vd. (2007) yaptıkları çalışmada, ön muamele işlemi sonrası hücre çeperi ana kimyasal bileşenleri olan hemiselüloz ve selüloz arasındaki bağların kopması, ayrıca hemiselüloz ve lignin arasındaki kovalent bağların kopmasından dolayı mikrofibril ve/veya fibrilleri çevreleyen lignin hemiselüloz matriks yapısında deformasyonlar oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

Houtman ve Horn (2011) yaptıkları çalışmada Ladin, Kavak ve Çam odunu yongalarını okzalik asitle ön muamele işlemine tabi tutmuşlardır. Ladin odunu hücre çeperlerinin daha ince olması sebebiyle Kavak ve Çam türlerine göre okzalik asitle daha kolay hidrolize olabildiklerini bildirmişlerdir.

Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) odunu örneklerinin anatomik yapılarının incelenmesi sonucunda, okzalik asit ön muamele işlemi için Şekil 5.5. ve 5.6.'da, sülfamik asit uygulaması için Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da ve hidrojen peroksit+demir sülfat uygulamasında Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.'te, herhangi bir deformasyon görülmemiştir. Kimyasal uygulaması ile ibreli ağaç odununda hücre çeperlerindeki deformasyon mikroskop altında açık bir şekilde görülebilirken, yapraklı ağaç

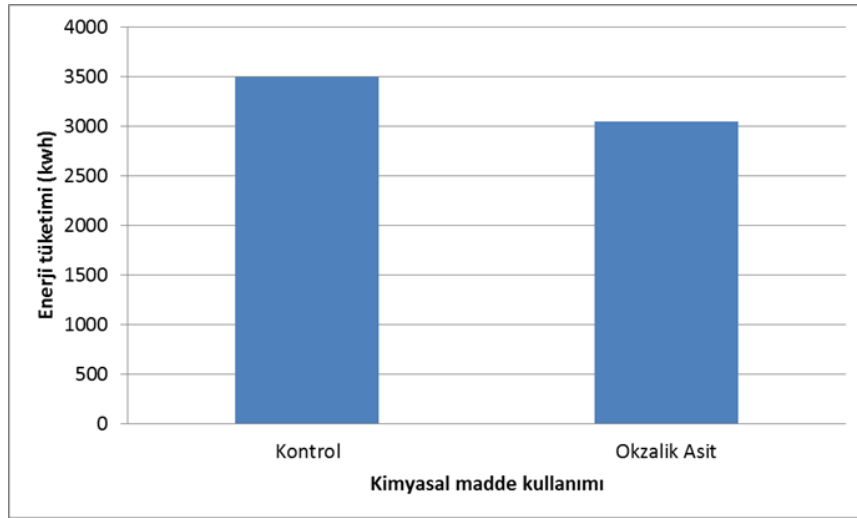
odununda hücre çeperlerinde herhangi bir bozulma veya değişim görülmemektedir. Kızılcım odunu hücrelerinde bulunan geçitler genellikle reçineler ile çevrili olmakta, bunlarda sıvı ve gaz geçişini engellemektedirler. Okzalik asit ön muamelesi ile yüksek basınç ve sıcaklıkta pişirme sırasında bu reçinelerin parçalanmasıyla hücreler arası geçitler açılabilir. Buda sıcaklık iletiminin hızlanarak mevcut pişirme süresinde odun hücrelerinin daha fazla şişmesini sağlayabilir. Böylece yüzey alanının artacağı ve çam odununun mekanik olarak liflendirilmesi esnasında enerjisi harcamasının azaldığı düşünülmektedir. Yapraklı ağaç olan Doğu Kayını odununda reçine olmadığı için geçitlerden sıvı ve buharın difüzyonunun yeterli oranda gerçekleştiği söylenebilir. Ancak özellikle Doğu Kayını odununda boyuna paranzim hücreleri oldukça fazla olup, bunlar içleri dolu iletim görevi yapmayan hücrelerdir. Ayrıca yapraklı ağaç türlerinde hücrelerin daha büyük ve kısa olması sebebiyle yumuşatılması gereken alanın daha fazla olması ön muamele işleminde uygulanan kimyasal miktarının yetersiz kaldığı ihtimalini de güçlü kılmaktadır. Başka bir çalışmada ön muamele işleminde kullanılan kimyasal maddelerinin oranlarının artırılarak Kayın odununun liflendirme enerjisinde değişim olup olmadığı araştırılabilir.

## **6.2. Liflendirme Enerjisi Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulguların Tartışılması**

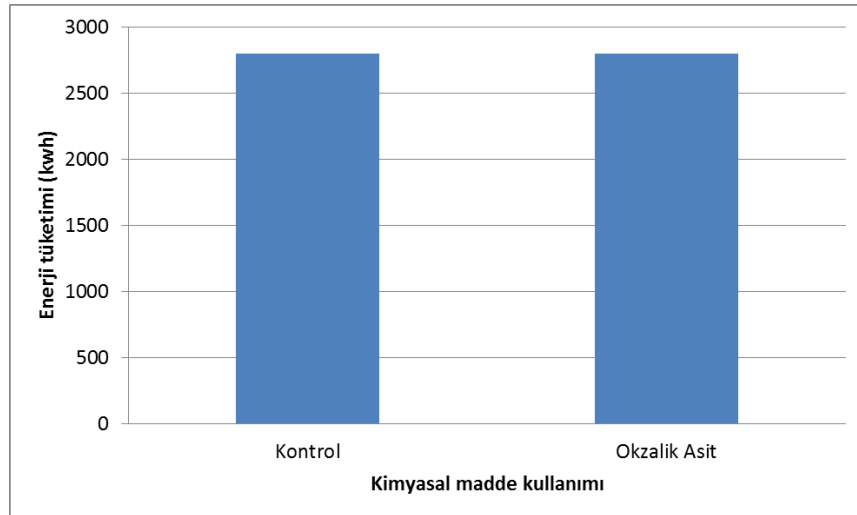
### **6.2.1. Okzalik Asidin Enerji Tüketimine Etkisi**

Kızılcım odununda ön işlem kimyasalı olarak okzalik asit kullanımının, liflendirme aşamasındaki enerji tüketimine etkisi Şekil 6.1.'de görülmektedir. Buradan açıkça anlaşılacağı üzere okzalik asit kullanımı enerji tüketimini yaklaşık olarak %13 oranında azalma ölçülmüş olup, kontrol örneğine oranla enerji tüketimi 3500 kwh'den 3050 kwh'e düşmüştür. Bezer bir çalışmada Akhtar vd. (2008)'de aldıkları patentte okzalik asit ve dietilester ile odun yongalarını ön muameleye tabi tutmuşlardır. Sonrasında bu yongaların termomekanik yöntemle liflendirilmesi sonucunda orta yoğunlukta liflevha üretmişlerdir. Rudie vd. (2007) yılında yaptıkları çalışmada düşük konsantrasyonda okzalik asit ile Ladin ve Kavak odunu yongalarına ön muamele işlemi yapmışlardır. Bu yongaların liflendirilmesi esnasında %25

oranında liflendirme enerjisi tasarrufu yaptıklarını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada Rudie (2011)' e göre Çam, Kavak ve Ladin odunu yongaları belirli oranlarda okzalik asitle ön muamele işlemi yapılmıştır. Liflendirme işleminde Ladin odunu yongası çalışırken %30 enerjinin düştüğünü bildirmişlerdir. Bu oran Çam için %31, Kavak için %12 oranında olduğu bildirilmiştir. Bu azalmayla Kızılçam odunu liflendirme enerjisi, Kayın odunu yongalarının liflendirme enerjisi tüketim değerlerine yaklaşmıştır.

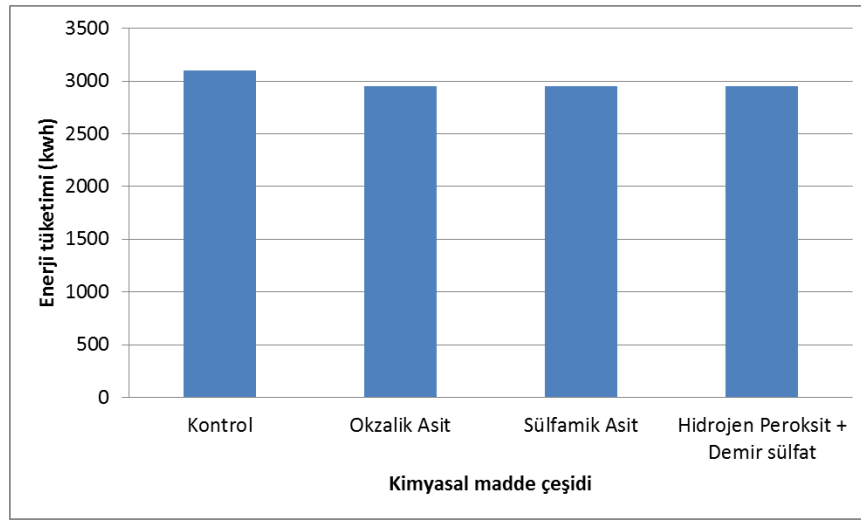


Şekil 6.1. Kızılçam odununda okzalik asit kullanımının enerjisi tüketimine etkisi



Şekil 6.2. Kayın odununda okzalik asit kullanımının enerjisi tüketimine etkisi

Kızılcım odunu aksine Kayın odununda okzalik asitle ön muamele işlemleri liflendirme prosesindeki enerji tüketimi üzerinde herhangi bir değişime neden olmamıştır. Bu durum Şekil 6.2.'de görülmektedir. Bunun sebebi olarak yapraklı ağaç odunu hücrelerinde geçitlerin açık olması sebebiyle, buharla pişirme işleminde su ve buharın hücreler arası difüzyonunun yeterli oranda gerçekleştiği söylenebilir. Böylece odun hücreleri homojen olarak pişirilmektedir. Ayrıca yapraklı ağaç türlerinde hemiselüloz oranı daha fazla olduğu için liflendirme öncesi pişirme sırasında hemiselüloz polimerlerinin degrades olması ile ortaya çıkan asit gruplarının, okzalik asit uygulamasındaki benzer etkinin oluşmasına yardımcı olabileceği söylenebilir. Bu nedenle, bu çalışmadaki deneme planı koşullarında Doğu Kayını odununun liflendirilmesi sırasında liflendirme enerjisinde azalma görülmemiştir. Okzalik asit miktarının yükseltilmesi ile ne gibi sonuçlar ortaya çıkacağı farklı bir çalışmada araştırılabilir.



Şekil 6.3. %70 kayın+ %30 çam odununda kimyasal madde oranının enerji tüketimine etkisi

Endüstride sıkça kullanılan odun karışımı olan %70 kayın+%30 çam odunu yonga karışımında kontrol grubu enerji tüketimi 3050 kwh gerçekleşirken, her üç kimyasal maddenin kullanımında 2950 kwh gerçekleşmiş, kontrol örneğine göre %3,3 oranında bir azalma olduğu Şekil 6.3'te görülmektedir.

Tablo 5.2.'de görüleceği üzere en düşük liflendirme enerjisi tüketimi Kayın odunu kullanımında, en yüksek değer ise Kızılcım odunu kullanımında ölçülmüştür. Bu

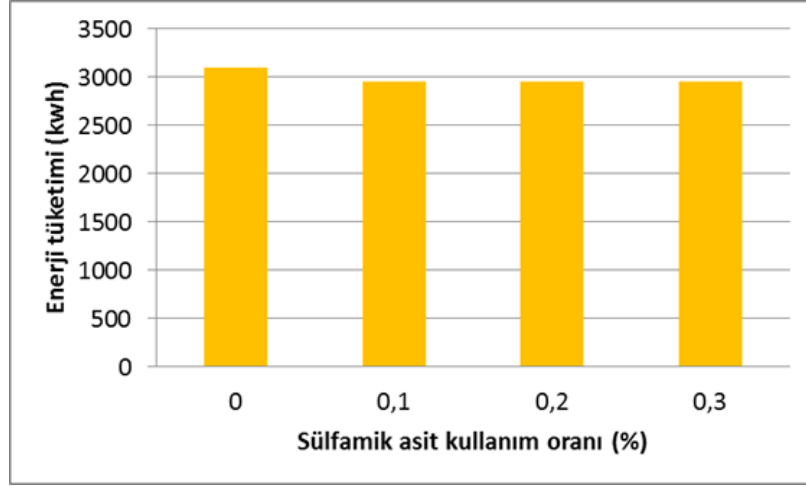
yüksek lisans tez çalışmasında elde edilen sayısal verilere benzer sonuçlar, Houtman ve Horn (2011) tarafından da bulunmuştur. Söz konusu bu araştırmada çam odunu yongalarının %0–1,2 konsantrasyonlarında okzalik asit ile muamele edilmesiyle liflendirme işleminde %20–35 oranlarında bir elektrik enerjisi tasarrufu sağlandığı belirtilmiştir.

Diğer bir benzer çalışma olan Li vd. (2011)'e göre, kuru oduna oranla %0,33 okzalik asit çözeltisinde çam odunu yongalarını ön muamele işlemine tabi tutarak liflendirme işleminde %50'ye varan liflendirme enerjisi tasarrufu sağlanmıştır.

Başka bir çalışmada Klungness vd. (2003)'e göre, %1 okzalik asit konsantrasyonunda çözelti içerisinde, çam odunu yongalarını ön muamele işlemine tabi tutmuşlardır. Sonrasında yongaları TMP yöntemiyle liflendirmişlerdir. İşlem sonucunda elektrik enerjisinde %20 oranında bir azalma olduğu ifade edilmiştir.

#### **6.2.2. Sülfamik Asidin Enerji Tüketimine Etkisi**

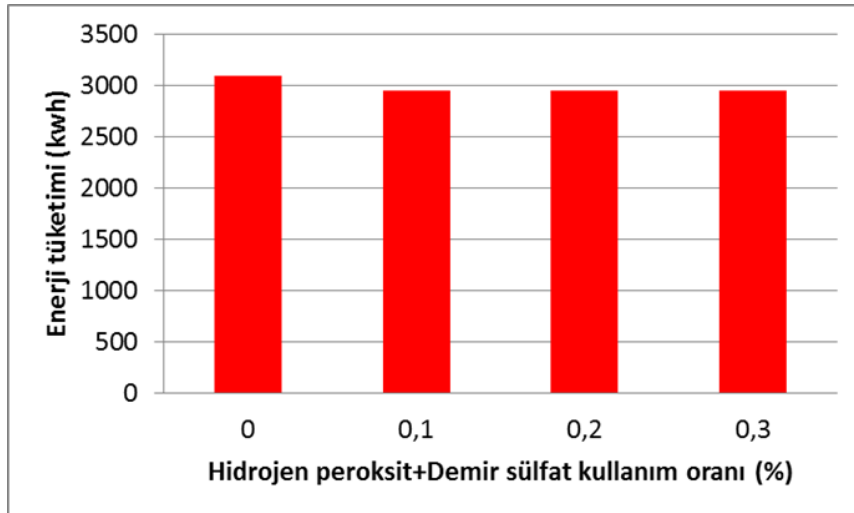
Farklı oranlarda sülfamik asit kullanımı ile %70 kayın+ %30 çam odunu yongaları ön muamele işlemine tabi tutularak, liflendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.4.'te görüleceği üzere %0,1 oranında sülfamik asit kullanımında tüketilen enerji miktarında %4,8 oranında bir azalma olduğu görülmüştür, kontrol örneğine oranla enerji tüketimi 3100 kwh'den 2950 kwh'e düşmüştür. Kullanım oranının %0,1'den %0,3'e arttırılmasıyla liflendirme prosesindeki enerji tüketiminde azalma tespit edilmemiştir. Ülkemizde ve dünyada liflendirme öncesi yongalara ön muamele işlemi amacıyla sülfamik asit kullanımına dönük bir endüstriyel ve akademik çalışmaya rastlanmamıştır.



Şekil 6.4. %70 kayın+ %30 çam odununda sülfamik asit kullanımı

### 6.2.3. Hidrojen Peroksit+Demir Sülfat Kullanımının Enerji Tüketimine Etkisi

Farklı oranlarda hidrojen peroksit+demir sülfat kullanımında %70 kayın+ %30 çam odunu yongaları ön muamele işlemine tabi tutularak, liflendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.5.'te görüleceği üzere %0,1 oranında hidrojen peroksit+demir sülfat kullanımında %4,8 oranında bir azalma olduğu görülmüş, kontrol örneğine oranla enerji tüketimi 3100 kwh'den 2950 kwh'e düşmüştür.. Fakat hidrojen peroksit+demir sülfat kullanım dozajındaki değişimin enerji sarfiyatı üzerindeki etkisi belirgin değildir.



Şekil 6.5. %70 kayın+ %30 çam odununda hidrojen peroksit+demir sülfat kullanımı

Johansson vd. (2007) çam odunu yongalarını liflendirme öncesinde farklı Ph' lardaki düşük konsantrasyonlu hidrojen peroksitle ön muamele işlemine tabi tutmuşlardır. Bunu sonucunda mekanik liflendirme işleminde %34–42 oranlarında elektrik enerjisinde azalma tespit edildiğini bildirmişlerdir.

Başka bir çalışmada Walter (2009)'da %1–2 konsantrasyonlardaki hidrojen peroksit çözeltileri iki kademeli liflendirme ünitesinin birinci kademesindeki rafinöre yongayla birlikte direkt olarak verilmiştir. Ladin odunu yongaları kullanılarak yapılan liflendirme işlemi sırasında elektrik enerjisinde %20–40 oranlarında düşüş olduğu rapor edilmiştir.

*Tablo 6.1. Kimyasal oranının liflendirme enerjisi tüketimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.*

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	8	3	2,667	2,185	,097
Gruplar İçi	86,667	71	1,221		
Düzeltilmiş Toplam	94,667	74			

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.1.'de görüleceği üzere kullanılan kimyasal oranlarındaki değişimin liflendirme enerjisi tüketimi bakımından istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir (Önem düzeyi > 0,05).

*Tablo 6.2. Kimyasal oranına ait Duncan testi*

Kimyasal oranı	N	Grup
		1
0	30	2,3333
0,1	25	3,0000
0,2	10	3,0000
0,3	10	3,0000
Sig.		,142

Tablo 6.2. incelendiğinde kimyasal oranının liflendirme enerjisi tüketimi sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. %100 Kayın odunu ile yapılan örneklerde en yüksek sonuçlar görülmüştür. İstatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı için tüm kimyasal oranları aynı homojenlik grubunda yer almıştır.

*Tablo 6.3. Kimyasal türünün liflendirme enerjisi tüketimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.*

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	8	3	2,667	2,185	,097
Gruplar İçi	86,667	71	1,221		
Düzeltilmiş Toplam	94,667	74			

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.3.'de kimyasal türünün liflendirme enerjisi tüketimi bakımından istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir (Önem düzeyi > 0,05).

*Tablo 6.4. Kimyasal türüne ait Duncan testi.*

Kimyasal oranı	N	Grup
		1
Kontrol	30	2,3333
Okzalik asit	15	3,0000
Sülfamik asit	15	3,0000
Hidrojen peroksit+demir sülfat	15	3,0000
Sig.		,111

Tablo 6.4. incelendiğinde kimyasal türünün liflendirme enerjisi tüketimi sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. İstatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı için tüm kimyasal türleri arasında farklılık tespit edilmemiştir.

Tablo 6.5. Odun türünün liflendirme enerjisi tüketimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	83,556	2	41,778	270,72	,000***
Gruplar İçi	11,111	72	,154		
Düzeltilmiş Toplam	94,667	74			

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.5.'de görüleceği üzere odun türünün liflendirme enerjisi tüketimleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Önem düzeyi < 0,05).

Tablo 6.6. Odun türüne ait Duncan testi.

Odun türü	N	Grup		
		1	2	3
%100 Kayın	15	1,0000		
%70 Kayın+ %30 Çam	45		2,7778	
%100 Çam	15			4,3333
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tablo 6.6.'da görüleceği üzere odun türlerine göre liflendirme enerjisi tüketimi sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. %100 Çam sonuçları, %70 Kayın + %30 Çam sonuçları ve %100 Kayın sonuçları farklı homojen gruplarda yer almış ve aralarında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık olduğu görülmüştür. Deney örneklerinde artan çam odunu kullanımında liflendirme enerjisi tüketimlerinin daha yüksek görülmektedir. Kayın odunu kontrol grubunda liflendirme enerjisi 2800 kwh iken, Çam odunu kontrol grubunda bu değer 3500 kwh olarak ölçülmüştür. Bunun sebebi olarak Çam odunu yongasındaki hücrelerin geçitlerinin reçine ile çevrili olmasının, pişirme sırasında buhar difüzyonunu engellediği için yeterli pişirmenin sağlanamadığı, bu nedenle yonganın yeteri kadar şişmediği söylenebilir.

Tablo 6.7. Ön muamele sıcaklığının liflendirme enerjisi tüketimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	3	1	3,00	2,389	,127
Gruplar İçi	91,667	73	1,256		
Düzeltilmiş Toplam	94,667	74			

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.7.'de ön muamele sıcaklığının liflendirme enerjisi tüketimi bakımından istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir (Önem düzeyi > 0,05).

### 6.3. Lif Boyutları Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulguların Tartışılması

Araştırmaya konu olarak yapılan deneme üretimlerindeki lif boyutları Şekil 5.17. ile Şekil 5.31. aralığındaki resimlerde gösterilmiştir.

Liflevha üretiminde en iyi lif boyutu 0,315 mm, iyi lif boyutunun 1 mm olduğu öngörülmektedir. 0,10 mm ile 1 mm arasında değişen ölçülerdeki liflerin oranının %3 ila %90' a kadar değişen oranlarda olabileceği gibi, Liflevha üretim tesislerinin teknolojik özelliklerine ve müşteri beklentisine uygun ürünün üretilmesi için buna uygun lif boyutları ile üretim yapılabileceği ve bu konuda herhangi bir standardın olmadığı belirtilmiştir (Koç, 2002).

Çeşitli ön işlemlere maruz bırakılarak üretilen TMP liflerinden yapılan kompozit malzemelerin mukavemet değerlerinde bir miktar azalma olmaktadır. Bunun sebebi ise söz konusu işlemlerin odun liflerinin anatomik yapısında ve hücre çeperinin kimyasal kompozisyonunda meydana getirdiği değişikliklerdir. Burada meydana gelen ana değişim, liflerin boylarının belirli ölçülerde kısılmasıdır (Winandy vd. 2008).

Yapılan deneme üretimlerinde %89 ila %95 arasında değişen oranlarda 0,10 mm ile 1 mm arasında lif boyutları ölçülmüştür. Yapılan deneme üretimlerinde Liflevha

üretimi için ideal boyutta liflerin yüksek oranda elde edildiği söylenebilir. En yüksek oran %94,5 ile Kayın odunu lifinde ölçülmüştür.

En yüksek oranda 0,10 mm'nin altında lif boyutu (liflevha üretiminde istenmeyen ölçü) 4 No' lu deneme düzeninde ölçülmüştür.

Denemelerde kullanılan ön muamele kimyasallarının farklı odun türleri kullanılarak yapılan üretimlerde lif boyutları üzerinde büyük farklılıklar oluşturmadığı görülmektedir.

#### **6.4. Bazı Fiziksel ve Kimyasal Direnç Değerleri Üzerine Kimyasal Ön İşlem Şartlarına Ait Bulguların Tartışılması**

##### **6.4.1. Kalınlığına Şişme Miktarı**

Aşağıda Tablo 6.8.'de odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklıklarının levhanın kalınlığına şişme miktarına etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı çoklu varyans analizi ile belirlenmiştir.

Tablo 6.8. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın kalınlığına şişme miktarına etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Odun Türü (A)	2,951	2	1,475	17,826	,000***
Ön Muamele Kimyasalı (B)	,642	2	,321	3,876	,026***
Kimyasal Oranı (C)	,535	2	,267	3,232	,046***
Ön Muamele Sıcaklığı (D)	,002	1	,002	,023	,879
A * B	,000	0	.	.	.
A * C	,000	0	.	.	.
A * D	,760	2	,380	4,593	,014
B * C	,662	2	,331	4,000	,023
B * D	,000	0	.	.	.
C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C	,000	0	.	.	.
A * B * D	,000	0	.	.	.
A * C * D	,000	0	.	.	.
B * C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C * D	,000	0	.	.	.
Hata	4,966	60	,083		
Toplam	8665,333	75			
Düzeltilmiş Toplam	10,826	74			

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.8.'de görüleceği üzere odun türü, ön muamele kimyasalı ve kimyasal oranının kalınlığına şişme miktarı değerleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Önem düzeyi < 0,05).

Tablo 6.8.'deki diğer değerlere göre ön muamele sıcaklığının kalınlığına şişme miktarı değerleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir (Önem düzeyi > 0,05). Dolayısıyla 75 °C sıcaklığın ön muamele için yeterli olduğu söylenebilir.

Tablo 6.9. Kalınlığına şişme miktarı sonuçlarına ait Duncan testi.

Odun türü	N	Grup	
		1	2
%100 Çam	15	10,5620	
%70 Kayın+ %30 Çam	45	10,7078	
%100 Kayın	15		11,0253
Sig.		,121	1,000

Tablo 6.9. incelendiğinde deney levhaları odun türüne göre kalınlığına şişme miktarı sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. %100 Kayın odunu ile yapılan örneklerde olumsuz anlamda en yüksek sonuçlar görülmüştür. %100 Çam örnekleri ve %70 Kayın + %30 Çam örnekleri aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca bu örnekler ile %100 Kayın örnekleri arasında belirgin bir fark olduğu için farklı homojen gruplarda yer almış ve aralarında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak, Çam odunu yoğunluğunun Kayın odunu yoğunluğundan daha düşük olması sebebiyle oluşturulan lif taslağı daha yüksek olmakta, buda sıcak presleme işleminde daha fazla sıkıştırma oranı uygulanmasına olanak tanıdığı söylenebilir. Daha fazla sıkıştırıldığı için hücreler arası boşluklar azalmakta ve kalınlığına şişme oranı daha düşük olmaktadır.

Kalınlığına şişme oranının Çam odunundan yapılan liflevhada daha düşük çıkmasının diğer bir nedeni de liflerinin Kayın odunu liflerine göre daha uzun olmasıdır. Bu sayede lif taslağı içerisindeki lifler arasındaki temas oranı artmakta ve suyun uzun lifler arasına girmesi daha zor olmaktadır (Ayrılmış, 2000). Ayrılmış (2000) yılında yaptığı çalışmada yapraklı ve ibrelili ağaç türlerinde ürettiği liflevhalarda en düşük kalınlığına şişme değerini Çam odunu ile üretilen liflevhalarda bulmuştur.

Tablo 6.10. Kalınlığına şişme miktarı sonuçlarına ait Duncan testi

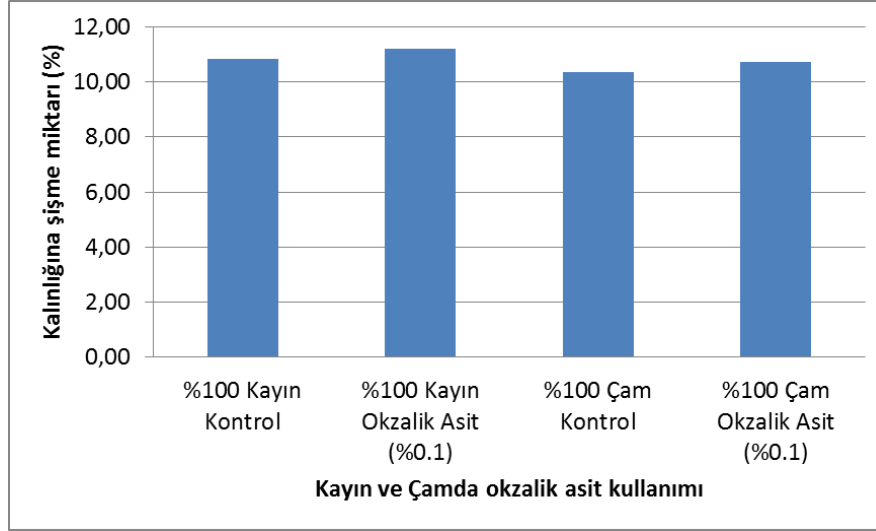
Kimyasal oranı	N	Grup	
		1	2
0	30	10,68	
0,1	25	10,69	
0,3	10	10,8140	10,8140
0,2	10		10,9710
Sig.		,250	,145

Tablo 6.10. incelendiğinde deney levhaları ön muamele kimyasalı oranına göre kalınlığına şişme miktarı sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. Kimyasal kullanılmayan örnekler ile %0,1 ve %0,3 oranında kimyasal kullanılan örnekler aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür. Bu grup ile %0,2 oranında kimyasal kullanılan örneklerin aralarında belirgin bir fark olduğu için farklı homojen gruplarda yer almışlardır. %0,3 ve %0,2 oranında kimyasal kullanılan örnekler aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür.

Tablo 6.11. Kalınlığına şişme miktarı sonuçlarına ait Duncan testi

Ön muamele kimyasalı	N	Grup
		1
Kontrol	30	10,6827
Okzalik asit	15	10,7260
Hidrojen peroksit+demir sülfat	15	10,8013
Sülfamik asit	15	10,8180
Sig.		,216

Tablo 6.11. incelendiğinde deney levhaları ön muamele kimyasalı türüne göre kalınlığına şişme miktarı sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. Kontrol grubu ile okzalik asit, sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfat kullanılan örnekler aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür.



Şekil 6.6. Kayın ve Çam yongasında okzalik asitin kalınlığına şişme miktarına etkisi

Ağaç türü değişkenine bağlı olmaksızın okzalik asit kullanımı liflevha levhaların kalınlığına şişme miktarı değerlerinde istatistiki olarak anlamlı bir değişime sebep olmamıştır. Bu durum Şekil 6.6.'da açıkça görülmektedir. Literatürde bu konu ile ilgili farklı bulgularda söz konusudur. Li vd. (2011b) çam yongasında okzalik asit ön muamelesi yaparak liflevhalar üretmiştir. Kalınlığına şişme miktarı değerlerinde %12,7'lik bir azalma olduğu ifade edilmektedir.

Wong vd. (1999) düşük yoğunluğa sahip odun türlerinin kullanımı ile preslemede yüksek sıkıştırma oranı uygulandığını, buna bağlı olarak da üretilen levhanın porözitesinin düşük olacağını belirtmişlerdir. Porözitesinin düşük olması ise levhanın içine suyun penetrasyonunu güçleştirecek ve kalınlığına şişme miktarlarında iyileşme sağlayacaktır (Candan, 2007).

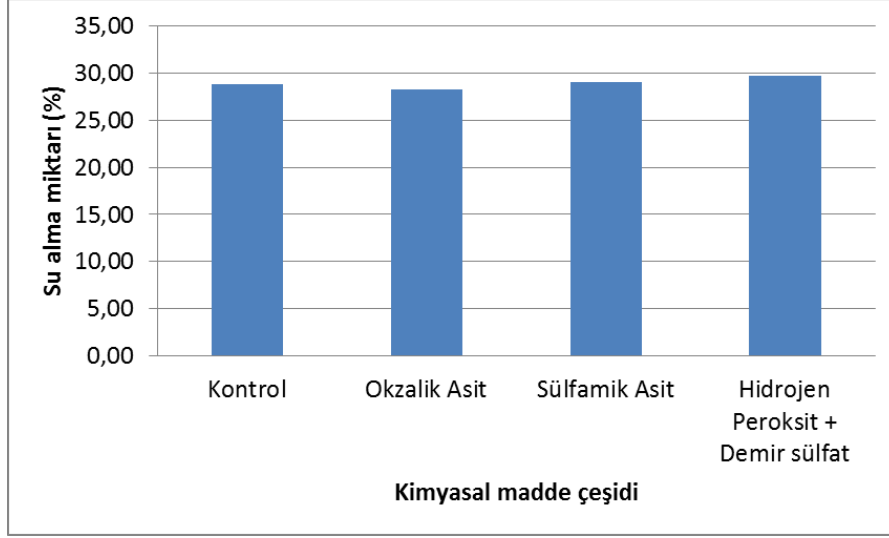
#### 6.4.2. Su Alma Miktarı

Aşağıda Tablo 6.12.'de odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklıklarının levhanın su alma miktarına etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı çoklu varyans analizi ile belirlenmiştir.

Tablo 6.12. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın su alma miktarına etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Odun Türü (A)	5,513	2	2,757	1,371	,262
Ön Muamele Kimyasalı (B)	4,213	2	2,106	1,047	,357
Kimyasal Oranı (C)	,879	2	,440	,219	,804
Ön Muamele Sıcaklığı (D)	,401	1	,401	,200	,657
A * B	,000	0	.	.	.
A * C	,000	0	.	.	.
A * D	,630	2	,315	,157	,855
B * C	2,268	2	1,134	,564	,572
B * D	,000	0	.	.	.
C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C	,000	0	.	.	.
A * B * D	,000	0	.	.	.
A * C * D	,000	0	.	.	.
B * C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C * D	,000	0	.	.	.
Hata	120,651	60	2,011		
Toplam	62621,843	75			
Düzeltilmiş Toplam	139,943	74			

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.12.'de görüleceği üzere odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının su alma miktarı değerleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir (Önem düzeyi > 0,05).



Şekil 6.7. %70 kayın+ %30 çam odununda kimyasal madde oranının su alma miktarına etkisi

Şekil 6.7.'den de anlaşılacağı üzere odun yongalarının ön muamele işleminde kullanılan kimyasal madde çeşidinin LİFLEVHA'ların su alma miktarı üzerinde belirgin bir farklılık tespit edilmemiştir.

Önceki bilimsel çalışmalarda okzalik asitin LİFLEVHA'ların su alma miktarı değerlerine olan etkisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma tespit edilebilmiştir. Li vd. (2011b) yaptıkları araştırmada çam yongasını okzalik asit ile işleme tabi tutarak LİFLEVHA'lar elde etmişlerdir. Elde edilen bulgularda levhaların su alma miktarı değerlerinin cüzi miktarda (%3,7) azaldığı rapor edilmiştir. Konu ile ilgili Akhtar vd. (2008) tarafından yapılan diğer bir bilimsel çalışma kapsamında okzalik asit ve dietilester ile ön muamele yapılan odun yongalarından LİFLEVHA'lar üretilmiştir. Burada ifade edilen sonuçlara göre levhaların su alma özelliğinin iyileştiği belirtilmektedir.

#### 6.4.3. Eğilme Direnci

Aşağıda Tablo 6.13.'de odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklıklarının levha eğilme direncine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı çoklu varyans analizi ile belirlenmiştir.

Tablo 6.13. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın eğilme direncine etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Odun Türü (A)	71,202	2	35,601	44,418	,000***
Ön Muamele Kimyasalı (B)	1,934	2	,967	1,206	,306
Kimyasal Oranı (C)	1,527	2	,763	,952	,392
Ön Muamele Sıcaklığı (D)	,820	1	,820	1,023	,316
A * B	,000	0	.	.	.
A * C	,000	0	.	.	.
A * D	5,732	2	2,866	3,576	,034
B * C	6,786	2	3,393	4,233	,019
B * D	,000	0	.	.	.
C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C	,000	0	.	.	.
A * B * D	,000	0	.	.	.
A * C * D	,000	0	.	.	.
B * C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C * D	,000	0	.	.	.
Hata	48,090	60	0,801		
Toplam	66953,469	75			
Düzeltilmiş Toplam	138,720	74			

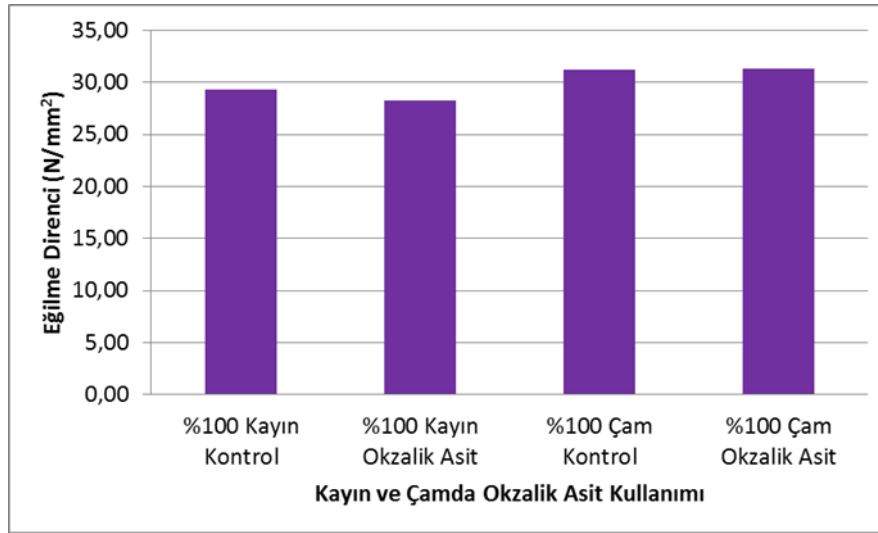
Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.13.'de görüleceği üzere odun türünün eğilme direnci değerleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Önem düzeyi < 0,05).

Tablo 6.13.'de ki diğer değerlere göre ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının eğilme direnci değerleri bakımından istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir (Önem düzeyi > 0,05).

Eğilme direnci üzerine etki eden bağımsız değişkenlere ait homojenlik gruplarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 6.14.'de verilmiştir.

Tablo 6.14. Eğilme direnci sonuçlarına ait Duncan testi

Odun türü	N	Grup		
		1	2	3
%100 Kayın	15	28,5433		
%70 Kayın+ %30 Çam	45		29,7040	
%100 Çam	15			31,5813
Sig.		1,000	1,000	1,000



Şekil 6.8. Kayın ve Çam yongasında okzalik asit kullanımının eğilme direncine etkisi.

Tablo 6.14.'de görüleceği üzere deney levhaları odun türlerine göre eğilme dirençleri sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. %100 Çam sonuçları, %70 Kayın + %30 Çam sonuçları ve %100 Kayın sonuçları farklı homojen gruplarda yer almış ve aralarında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık olduğu görülmüştür. Şekil 6.14'de açıkça görüldüğü üzere Çam odunu kullanımında eğilme dirençlerinde olumlu yönde artışlar tespit edilmiştir. Diğer üretim şartları aynı kalmak şartı ile eğilme direncini etkileyen en önemli faktör lif uzunluğudur. Lif uzunluğu arttıkça liflerin birbiri arasındaki temas uzunluğu arttığından daha fazla bir yapışma alanı oluşmakta ve özellikle levhanın eğilme direnci ve levhaya paralel çekme direnci yüksek olmaktadır (Ayrılmış, 2000). İğne yapraklı ağaç odunu türleri ile yapılan

Liflevhaların eğilme dirençleri yapraklı ağaçla yapılan liflevhaların eğilme dirençlerinden yüksek gelmektedir. Odun türüne bağlı olmaksızın okzalik asit kullanımının liflevhaların eğilme direnci değerlerinde istatistiki olarak anlamlı bir değişikliğe neden olmadığı tespit edilmiştir.

Li vd. (2011a) çam yongasını okzalik asitle ön muamele işlemine tabi tuttuktan sonra liflendirmişlerdir. Ardından bu liflerden orta yoğunlukta levhalar üreterek bunların eğilme direnci sonuçlarını tespit etmişlerdir. Belirtilen sonuçlara göre okzalik asit kullanımı, liflevhaların eğilme direnci değerlerini hafifçe düşürmektedir.

Konu ile ilgili Li vd. (2011b) tarafından yapılan çalışmada Çam yongaları okzalik asit ile muamele edilerek liflevhalar üretilerek fiziksel ve mekanik özellikleri ortaya konulmuştur. Buna göre genel bir şekilde mukavemet değerlerinde herhangi bir artışa neden olmadığı ifade edilmektedir. Literatürde bahsi geçen bu çalışmaların sonuçları, bu yüksek lisans tezinde elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir.

#### **6.4.4. Eğilmede Elastikiyet Modülü**

Aşağıda Tablo 6.15’de odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklıklarının liflevhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı çoklu varyans analizi ile belirlenmiştir.

Tablo 6.15. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın eğilmede elastikiyet modülüne etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Odun Türü (A)	447534,933	2	223767,466	65,923	,000***
Ön Muamele Kimyasalı (B)	85022,590	2	42511,295	12,524	,000***
Kimyasal Oranı (C)	8628,832	2	4314,416	1,271	,288
Ön Muamele Sıcaklığı (D)	8972,127	1	8972,127	2,643	,109
A * B	,000	0	.	.	.
A * C	,000	0	.	.	.
A * D	335,623	2	167,812	,049	,952
B * C	21144,458	2	10572,229	3,115	,052
B * D	,000	0	.	.	.
C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C	,000	0	.	.	.
A * B * D	,000	0	.	.	.
A * C * D	,000	0	.	.	.
B * C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C * D	,000	0	.	.	.
Hata	203662,019	60	3394,367		
Toplam	702070592,504	75			
Düzeltilmiş Toplam	946278,454	74			

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.15.'de görüleceği üzere odun türü ve ön muamele kimyasalının eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Önem düzeyi < 0,05).

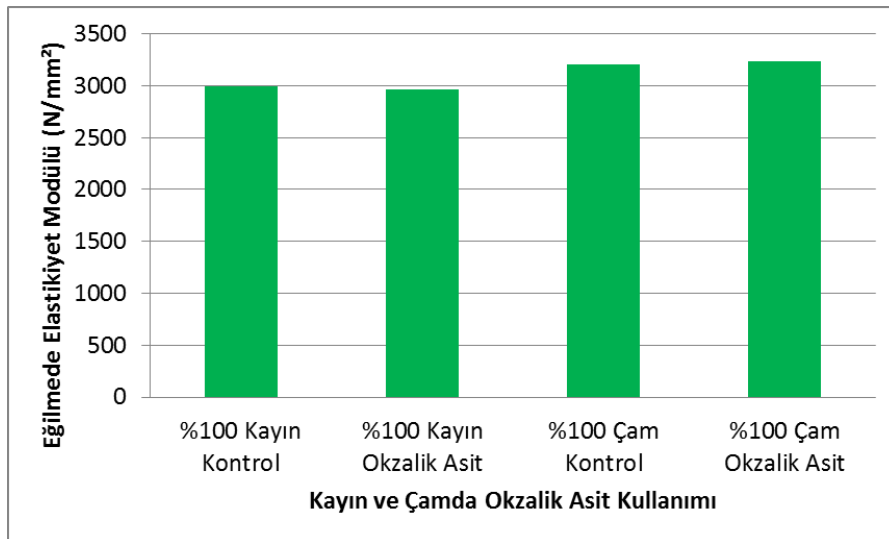
Tablo 6.15.'de ki diğer değerlere göre kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir (Önem düzeyi > 0,05).

Eğilmede elastikiyet modülü direnci üzerine etki eden bağımsız değişkenlere ait homojenlik gruplarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 6.16. ve Tablo 6.17.'de verilmiştir.

Tablo 6.16. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait Duncan testi.

Odun türü	N	Grup		
		1	2	3
%100 Kayın	15	2969,2360		
%70 Kayın+ %30 Çam	45	3036,6302		
%100 Çam	15	3208,3880		
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tablo 6.16.'da görüleceği üzere deney levhaları odun türlerine göre eğilmede elastikiyet modülü sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. %100 Çam örneklerinde en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. %100 Çam örnekleri ile %70 Kayın + %30 Çam örnekleri ve %100 Kayın örnekleri aralarında belirgin bir fark olduğu için farklı homojen gruplarda yer almış ve aralarında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık olduğu görülmüştür. Deney örneklerinde artan çam odunu kullanımında eğilmede elastikiyet modülü direncinde olumlu yönde artışlar görülmektedir.



Şekil 6.9. Kayın ve Çam yongasında okzalik asit kullanımının eğilmede elastikiyet modülüne etkisi

Li vd. (2011a) ve Li vd. (2011b) yaptıkları çalışma kapsamında çam yongalarını okzalik asitle ön muamele işlemine tabi tuttuktan sonra liflendirmişlerdir. Ardından bu liflerden liflevhalar üreterek performans özelliklerini ortaya koymuşlardır. Okzalik asit kullanımı, liflevhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarını bir miktar azalttığı rapor edilmiştir. Winandy vd. (2008) çeşitli ön işlemlere maruz bıraktıkları TMP odun liflerini kullanarak ahşap-plastik kompozit malzemeler üretmişlerdir. Daha sonra bunlar üzerinde değişik performans analizleri yapmışlardır. Buna göre söz konusu ön işlemlerin bu kompozit maddelerin eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarını az miktarda düşürdüğü belirtilmiştir. Bunların sebebinin ise, yapılan ön muamele işlemlerinin odun liflerinin fiziksel özellikleri (lif boyunun azalması) üzerinde yapmış olduğu değişimler ifade edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre gerek eğilme direnci, gerekse eğilmede elastikiyet modülü (Şekil 6.9.) değerlerindeki olumsuz sonucun sebebinin, okzalik asitle ön muamele işlemlerinin odun liflerinin morfolojik yapısında meydana getirdiği deformasyon olduğu düşünülmektedir.

*Tablo 6.17. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait Duncan testi*

Ön muamele kimyasalı	N	Grup	
		1	2
Sülfamik asit	15	2986,4060	
Hidrojen peroksit+demir sülfat	15	2989,7207	
Kontrol	30		3094,5297
Okzalik asit	15		3122,3287
Sig.		,868	,168

Tablo 6.17. incelendiğinde ön muamele kimyasallarının eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına göre yapılan Duncan testi sonucuna göre okzalik asitle üretilen deney örnekleri ile kontrol örnekleri aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfatla yapılan örnekler ile aralarında belirgin bir fark olduğu için farklı grupta yer almışlardır. Sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfatla yapılan örnekler aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki

farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür. Sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfat kullanımında elastikiyet modülü direnç değerlerinde olumsuz yönde azalma görülmüştür.

#### 6.4.5. Yüze Dik Çekme Direnci (Yapışma Direnci)

Aşağıda Tablo 6.18’de odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklıklarının levha yüze dik çekme direncine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı çoklu varyans analizi ile belirlenmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.18.’de görüleceği üzere odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının yüze dik çekme direnci değerleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Önem düzeyi < 0,05).

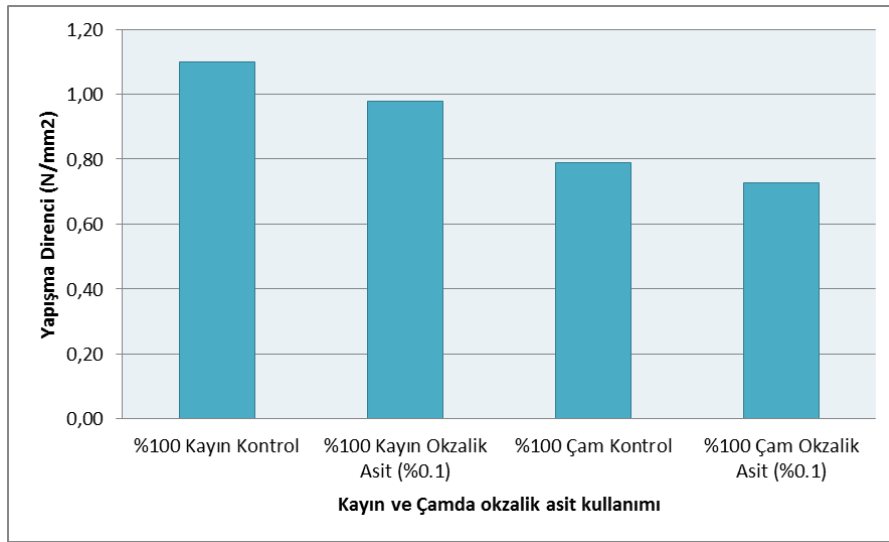
Tablo 6.18. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın yapışma direncine etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Odun Türü (A)	,522	2	,261	139,404	,000***
Ön Muamele Kimyasalı (B)	,015	2	,008	4,015	,023***
Kimyasal Oranı (C)	,013	2	,007	3,529	,036***
Ön Muamele Sıcaklığı (D)	,014	1	,014	7,286	,009***
A * B	,000	0	.	.	.
A * C	,000	0	.	.	.
A * D	,010	2	,005	2,670	,077
B * C	,003	2	,001	,711	,495
B * D	,000	0	.	.	.
C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C	,000	0	.	.	.
A * B * D	,000	0	.	.	.
A * C * D	,000	0	.	.	.
B * C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C * D	,000	0	.	.	.
Hata	,112	60	,002		
Toplam	59,662	75			
Düzeltilmiş Toplam	,734	74			

Tablo 6.19. Yüzeyle dik çekme direnci sonuçlarına ait Duncan testi

Odun türü	N	Grup		
		1	2	3
%100 Çam	15	,7627		
%70 Kayın+ %30 Çam	45		,8798	
%100 Kayın	15			1,030
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tablo 6.19. incelendiğinde deney levhaları odun türüne göre yüzeyle dik çekme direnci sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. %100 Kayın odunu ile yapılan örneklerde en yüksek sonuçlar görülmüştür. %100 Çam örnekleri ile %70 Kayın + %30 Çam örnekleri ve %100 Kayın örnekleri aralarında belirgin bir fark olduğu için farklı homojen gruplarda yer almış ve aralarında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık olduğu görülmüştür. Deney örneklerinde artan kayın odunu kullanımında yüzeyle dik çekme direncinde olumlu yönde artışlar görülmektedir.



Şekil 6.10. Kayın ve Çam yongasında okzalik asitin yapışma direncine etkisi

Şekil 6.10.'da görüldüğü gibi Kayın odunu yongalarının %0,1 okzalik asit kullanımı ile ön muamele edilmesi sonucu elde edilen odun liflerinden yapılan liflevhaların levha yüzeyine dik çekme direnci (yapışma direnci) 0,98 N/mm<sup>2</sup> ölçülürken, kontrol grubu levhalarında bu değer 1,10 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Yaklaşık olarak %10 oranında daha düşüktür. Çam odunu yongalarının %0,1 okzalik asit kullanımı ile ön muamele edilmesi sonucu elde edilen odun liflerinden üretilen liflevhaların levha yüzeyine dik çekme direnci (yapışma direnci) 0,73 N/mm<sup>2</sup> ölçülürken, kontrol grubu

levhalarında bu değer 0,79 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş olup, yaklaşık %8 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Liflendirme prosesinde okzalik asit ön muamelesi işleminin orta yoğunluktaki levhalarının yapışma direnci üzerine etkisi Li vd. (2011b) tarafından yapılan bir çalışma ile ortaya konulmuştur. Buna göre okzalik asit ile muamele prosesi liflevhaların yapışma direnci değerlerini %37 oranında azaltmıştır. Söz konusu bu azalmaya büyük oranda hemiselülozların kaybının sebep olduğu Winandy vd. (2008) tarafından rapor edilmiştir. Buna ilaveten odun yongasındaki kalıntı okzalik asit sistemin Ph değerini düşürüp Üre formaldehit reçinesinin kendi kendine kondenzasyonuna neden olmaktadır. Bu da liflevhaların yapışma direncinin düşmesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Levha yüzeyine dik çekme direncini etkileyen önemli bir faktör ağaç türünün fiziksel, anatomik ve kimyasal yapısıdır. Elastikiyet modülü en yüksek olan grup, levha yüzeyine dik çekme direncinde en düşük değeri verir. Buna ilaveten, levha yüzeyine dik çekme direnci en düşük olan grubun elastikiyet modülü gibi eğilme direnci, kalınlığına şişme özelliği ve yüzey absorpsiyon değerinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özetle ağaç türleri ve karışımlarının etkisi düşünüldüğünde eğilme direnci, elastikiyet modülü, kalınlığına şişme ve yüzey absorpsiyon değeri birbirine nispeten paralel iken, levha yüzeyine dik çekme direnci bu dört özellik ile paralellik arz etmemektedir (Candan, 2007).

*Tablo 6.20. Yüzeğe dik çekme direnci sonuçlarına ait Duncan testi*

Ön muamele kimyasalı	N	Grup	
		1	2
Sülfamik asit	15	,8660	
Hidrojen peroksit+demir sülfat	15	,8773	,8773
Okzalik asit	15	,8780	,8780
Kontrol	30		,9053
Sig.		,450	,078

Tablo 6.20. incelendiğinde deney levhaları ön muamele kimyasalı göre yüzeye dik çekme direnci sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. Sülfamik asit uygulaması ile yapılan örneklerle kontrol örneği arasında belirgin bir fark olduğu için farklı gruplarda yer almıştır. Hidrojen peroksit+demir sülfat ve okzalik asit ile yapılan örnekler ise hem kontrol örnekleri ile hem de sülfamik asit örnekleri ile aynı homojen sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür.

Tablo 6.21. Yüzeye dik çekme direnci sonuçlarına ait Duncan testi

Kimyasal oranı	N	Grup		
		1	2	3
0,3	10	,8530		
0,1	25	,8712	,8712	
0,2	10		,9010	,9010
0	30			,9053
Sig.		,263	,067	,787

Tablo 6.21. incelendiğinde deney levhaları ön muamele kimyasalı oranına göre yüzeye dik çekme direnci sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. Kimyasal kullanılmayan örnekler ile %0,2 oranında kimyasal kullanılan örnekler ile %0,1 ve %0,3 kimyasal kullanılan örneklerin aralarında belirgin bir fark olduğu için farklı homojen gruplarda yer almış ve aralarında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık olduğu görülmüştür. %0,3 ve %0,1 oranında kimyasal kullanılan örnekler aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür. %0,1 ve %0,2 oranında kimyasal kullanılan örnekler aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür. Kimyasal kullanımı olmayan örnekler ile %0,2 oranında kimyasal kullanılan örnekler aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür.

#### 6.4.6. Yüzey Sağlamlığı

Aşağıda Tablo 6.22.'de odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklıklarının levha yüzey sağlamlığına etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı çoklu varyans analizi ile belirlenmiştir.

Tablo 6.22. Odun türü, ön muamele kimyasalı, kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının levhanın yüzey sağlamlığına etkisine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Odun Türü (A)	,011	2	,006	3,904	,025***
Ön Muamele Kimyasalı (B)	,018	2	,009	6,412	,003***
Kimyasal Oranı (C)	,004	2	,002	1,419	,250
Ön Muamele Sıcaklığı (D)	,012	1	,012	8,743	,004
A * B	,000	0	.	.	.
A * C	,000	0	.	.	.
A * D	,011	2	,006	3,992	,024
B * C	,012	2	,006	4,173	,020
B * D	,000	0	.	.	.
C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C	,000	0	.	.	.
A * B * D	,000	0	.	.	.
A * C * D	,000	0	.	.	.
B * C * D	,000	0	.	.	.
A * B * C * D	,000	0	.	.	.
Hata	,085	60	,001		
Toplam	116,121	75			
Düzeltilmiş Toplam	,156	74			

Varyans analizi sonuçlarına göre Tablo 6.22.'de görüleceği üzere odun türü ve ön muamele kimyasalının yüzey sağlamlığı değerleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Önem düzeyi < 0,05).

Tablo 6.22.'deki diğer değerlere göre kimyasal oranı ve ön muamele sıcaklığının yüzey sağlamlığı değerleri bakımından %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir (Önem düzeyi > 0,05).

Tablo 6.23. Yüzey sağlamlığı sonuçlarına ait Duncan testi

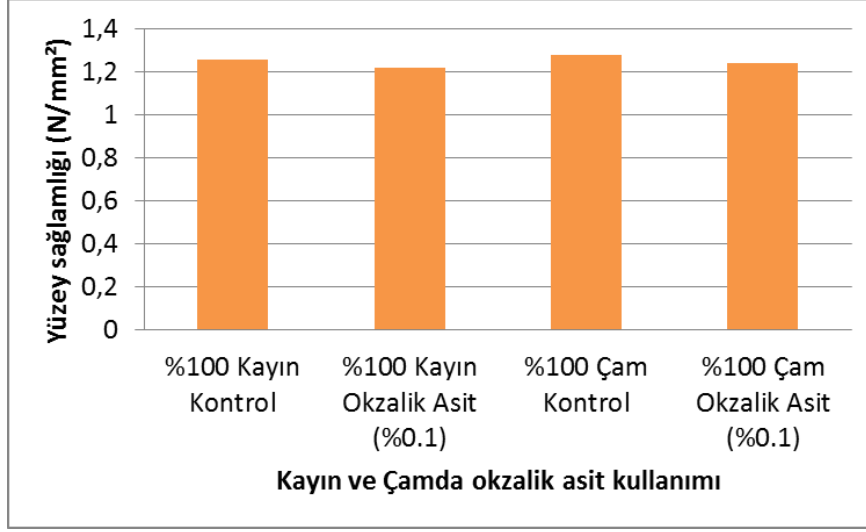
Odun türü	N	Grup	
		1	2
%100 Kayın	15	1,2180	
%70 Kayın+ %30 Çam	45		1,2476
%100 Çam	15		1,2567
Sig.		1,000	,455

Tablo 6.23. incelendiğinde deney levhaları odun türüne göre yüzey sağlamlığı sonuçları için Duncan testi yapılmıştır. %100 Kayın odunu ile yapılan örneklerde en düşük sonuçlar görülmüştür. %100 Çam örnekleri ve %70 Kayın + %30 Çam örnekleri aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca bu örnekler ile %100 Kayın örnekleri arasında belirgin bir fark olduğu için farklı homojen gruplarda yer almış ve aralarında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık olduğu görülmüştür.

Tablo 6.24. Yüzeğe dayanıklılığı sonuçlarına ait Duncan testi

Ön muamele kimyasalı	N	Grup	
		1	2
Okzalik asit	15	1,2267	
Sülfamik asit	15	1,2327	
Hidrojen peroksit+demir sülfat	30	1,2437	
Kontrol	15		1,2707
Sig.		,218	1,000

Tablo 6.24. incelendiğinde ön muamele kimyasallarının yüzey sağlamlığı sonuçlarına göre yapılan Duncan testi sonucuna göre okzalik asit, sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfat ile ön muamele yapılarak üretilen deney örnekleri aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür. Kontrol grubun ise okzalik asit, sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfatla yapılan örnekler ile aralarında belirgin bir fark olduğu için farklı grupta yer almıştır.



Şekil 6.11. Kayın ve Çam yongasında okzalik asitin yüzey sağlamlığına etkisi

Şekil 6.11.'de görüldüğü gibi Kayın odunu yongalarının %0,1 okzalik asit kullanımı ile ön muamele edilmesi sonucu elde edilen odun liflerinden yapılan liflevhaların yüzey sağlamlığı, kontrol grubu levhalarından önemsiz bir oranda daha düşüktür. Çam odunu yongalarının %0,1 okzalik asit kullanımı ile ön muamele edilmesi sonucu elde edilen odun liflerinden yapılan liflevhaların yüzey sağlamlığı değerinin, kontrol grubu levhalarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

## 7. SONUÇLAR

Bu zamana kadar yapılmış literatür çalışmalarında yapraklı ağaç türleri üzerine kimyasal ön işlem uygulaması yapılarak liflevha üretimindeki enerji tasarrufu konusunda çalışmaya erişilememiştir. Bu çalışmada Türkiye’ de liflevha üretiminde en çok kullanılan hem yapraklı ağaç, hem de iğne yapraklı ağaç odunları denenmiştir. Literatürde okzalik asit ve hidrojen peroksit ön işlemi ile liflendirmenin enerji tüketiminin azaldığına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma sonucunda yapraklı ağaç türleri için ön işlemin gerekli olmadığı, iğne yapraklı ağaçlar için ise literatüre uygun bir şekilde %13 oranında bir elektrik enerjisi tasarrufu laboratuvar ölçeğinde elde edilmiştir.

Doğu Kayını odunu hücreleri kimyasal uygulamaya gerek kalmadan, yüksek basınçlı buhar odun hücrelerini bir arada tutan bağları yumuşattığı için birbirlerinden daha kolay ayrılabilen ve bu nedenle enerji sarfıyatı Kızılçam odununa göre daha düşük olmaktadır. Kimyasal ön işlem uygulaması yapılan Kızılçam odunu yongalarının liflendirmesi için rafinörde harcanan elektrik enerjisi miktarı ile normal şartlarda Doğu Kayını odunu yongalarının liflendirilmesi esnasında rafinörde harcanan elektrik enerjisi miktarı hemen hemen aynıdır. Doğu Kayını odunu ön muamele işleminde kullanılan kimyasal oranı arttırılmasına rağmen elektrik enerjisi tüketiminin değişmemesi, yeterli miktarda kimyasal madde kullanılmadığı ihtimalini ortaya koymuştur. Bu sebeple başka bir çalışmada daha yüksek oranlarda kimyasal uygulaması yapılarak liflendirme enerjisindeki değişimler araştırılabilir.

Organik okzalik asit ile benzer özelliklere sahip inorganik bir asit olan sülfamik asit denemelerinin sonuçlarını görmek bu çalışmanın ana amaçlarından bir tanesidir. Laboratuvar ölçekli uygulamalarımız sonucunda sülfamik asit uygulamasının okzalik asit uygulamasıyla istatistiksel olarak benzer etkiler gösterdiği tespit edilmiştir.

Defibrasyon öncesi odun yongası örnekleri alınarak, tüm kesitler için preperatlar hazırlanmıştır. Işık mikroskobu kullanılarak bu görüntüler incelenmiş ve analiz edilerek, ön işlem kimyasallarının hücre çeperi üzerine etkileri belirlenmiştir. Üretilen liflere IMAL marka lif analizöründe boyutsal analiz yapılmıştır. Bu sayede

tüm üretimlerde elde edilen liflerin boyutsal karşılaştırması yapılmış, istatistiksel olarak örnekler arasındaki farkın önemsiz düzeyde olduğu görülmüştür.

Enerji tasarrufu amacıyla yongaların bir kimyasalla ön işleme tabi tutulması sonucu elde edilen lif levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde herhangi bir olumsuz etki ölçülmemiştir. 75 °C ve 100 °C ön işlem sıcaklıklarında liflendirme yapılmış, bu sıcaklık artışının hem kontrol, hem de ön işlem görmüş yongaların liflendirilmesinde enerji tasarrufu açısından herhangi bir olumlu etkisi istatistiksel olarak gözlemlenmemiştir.

## 8. ÖNERİLER

Lif levha üretiminde sülfamik asit ön işlemleri ve bunun etkileri ile ilgili çalışmalar literatürde ilk defa denenmiş ve Kızılçam odunu liflendirme işleminde etkili sonuçlar elde edilmiştir. Sülfamik asidin iğne yapraklı ağaç türlerinin liflendirilme enerjisini düşürdüğüne dair patent başvurusu yapılabilir.

Ülkemiz enerjide büyük oranda dışa bağımlı durumdadır. Buda büyük ölçüde döviz cinsinden gerçekleştiği için kur değişimi ile ahşap levha üretim maliyeti de etkilenmektedir. Okzalik asit, sülfamik asit ve hidrojen peroksit+demir sülfatın belirli oranlarda liflevha üretiminde liflendirme prosesinde kullanılması suretiyle enerji maliyetlerinde bir düşüş söz konusu olacaktır. Böylece liflevha üretim maliyetinin aşağı çekilmesi ile kar marjlarında artış olması muhtemeldir.

İğne yapraklı ağaç odunu kullanımıyla liflevha üretimi yapıldığında ön muamele işlemleri ile liflendirme enerjisi düştüğünden maddi tasarruf sağlanmakta olup, bu yöntem liflevha üretiminde başarı ile uygulanabilir. Genel olarak liflevha üretiminde yapraklı ağaç odunu kullanım oranı daha fazla olmakla birlikte, yalnızca ibreli ağaç odunu kullanımı ile üretilen liflevhalar da bulunmaktadır. Kayın odunu ön muamele işleminde kullanılan kimyasal madde miktarının arttırılmasıyla liflendirme enerjisinde değişim olup olmayacağı başka bir çalışmada araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Akgül, M., & Tozluoğlu, A. (2006). Kimyasal termomekanik hamur yöntemi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi. Seri:A Sayı:2
- Nelsson E. 2011. Reduction of Refining Energy during Mechanical Pulping – Using Pressurised Chip Compression and Sulphite Pre-treatment. Licentiate Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Akerholm ve Salmen. (2003) The oriented structure of lignin and its viscoelastic properties studied by static and dynamic FT-IR. *Holzforschung* 57:459–465.
- Akhtar, M., & Kenealy, W.R., & Horn, E.g., & Swaney R.E., & Winandy J. (2008). method of making medium density fiberboard. US patent no: US2008/0,264,588
- Arbez, M. (1974). Distribution, Ecology and Variation of *Pinus brutia* ten in Turkey. FAO, Forest. Gen. Res. Infor. No:3, p. 21-33.
- ASTM D1037-12, Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- A.W. Rudie. (2011). Value Prior To Pulping, Forest Products, Tappi Peers. 5 October 2011.
- Ayrılmış, N. (2000). LİFLEVHA' nın Teknolojik Özellikleri Üzerine Ağaç Türünün Etkisi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Candan, Z. (2007). Bazı Üretim Değişkenlerinin LİFLEVHA' nın Dikey Yoğunluk Profili ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Campbell, W.B., (1934). Groundwood studies; Theoretical efficiency, Pulp Paper Can. 35(4), 218-219.
- Chan M., (2012). Chemical Overview of Wood, Aug 31, 2012.
- Conil P., at al., (1998), & Conil, P. (2003). Ozone in the production of softwood and hardwood high-yield pulps to save energy and improve quality, Nordic Pulp and paper Research Journal, vol.13, n1, p 16, (1998). Use of ozone in mechanical pulping process, ATIP journal, vol. 57, n2, p17, (2003).
- Dağdaş, S. (1998). Hızlı Gelişen Tür Kapsamında İç Anadolu Bölgesinde ele Alınması Gereken Türler. Hızlı Gelişen Türlerle Yapılan Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi ve Yapılacak Çalışmalar, 8.9 Aralık 1998, Ankara, orman Bakanlığı Yayın Nu.: 083, 375s.

- Dodo'n, B. (2012) Word pul etrafta söner tan karbon fiber ör Kavlar.
- Eroğlu, H. (1988). Lif Levha Endüstrisi, Trabzon: K.T.Ü. Yayın No:304, 1988.
- Fengel (1970) Ultrastructural changes during aging of wood cells.
- Fengel ve Wegener (1984). Word-Chemistry, ultrastructure, reactions. Walter De Gruyter. Berlin. New York.
- Glasser ve Glasser (1981). Potential role of lignin in tomorrows wood utilazation technologies. Forest Product Journal 31, 24-29.
- Hafizoğlu ve Deniz, (2011). Odun Kimyası Ders Notları.
- Halvarsson, S.; & Edlund, H., & Norgren, M. (2009). Manufacture of non-resin wheat straw LİFLEVHA/HDF. Ind. Crops Products, Vol. 29, pp.437-445. ImpF: 1.660.
- Hammar, L.-A., & Htun, M., & Ottestam, C., & Salmen, L. & Sjögren, B. (1995). Utilising the ionic properties of the wood polymers in mechanical pulping, Int. Mech. Pulp. Conf., Ottawa, Ontario, Canada, June 12-15, CPPA, Montreal, Canada, pp. 183-187.
- Houtman, C. & Horn, E. (2011). Pilot trials of hemicelluloses extraction prior to thermomechanical pul production: Part 1, Tappi Journal, Mayıs 2011.
- Högman, S., & Hartler, N. (1988) Refiner edition of sulfite in mechanical pulping, Nord. Pulp Paper Res. J. 3(1) , 38-43
- Johansson L., & Hill, J., & Gorski D. & Axelsson, P., & (2011). Improvement of energy efficiency in TMP refining by selective wood disintegration and targeted application of chemicals. Nordic Pulp and Paper Research Journal. Vol 26 no. 1 /2011 31.
- Kang, T., & Soong, G., & Chang, X.F., & Beatson, R., & Olsan, J.A., & D.M., Martinez. (2010). Low Consistency Refining of Oxalic Acid Pretreated Word Shavings November/December. 2010 Pulp & Paper Canada.
- Kano, T., & Iwamida, T., & Sumi, Y. (1983). Energy savings in mechanical pulping, Int. Symp. Word Pulp. Conf., Helsinki, Finland, June 4-8, KCL, Helsinki, Finland, pp. 557-564
- Karin, W. (2009). Influence Of Acid Hydrogen Peroxide Treatment On Refining Energy And TMP Properties. Thesis for the degree of Licentiate of Technology. Sundsvall 2009.
- Kasaplıgil, B. (1952). Türkiye' nin Geçmişteki ve Bugünkü Çam Türleri. O.G.M. Yayını No:674, 99s., Ankara.

- Kayacık, H. (1965). Orman ve park Ağaçlarının Özel Sistematığı 1. Cilt, Gymnospermae. İ.Ü. Orman Fak. Yay. No. 1105/98, İstanbul
- Kenealy, William., & Horn, Eric., & Davis, Mark., & Swaney, Ross., & Houtman, Carl (2007). Vapor-phase diethyl oxalate pretreatment of wood chips. Part 2, Release of hemicellulosic carbohydrates. *Holzforschung*. Vol. 61 (2007): pages 230-235.
- Klungness, J.H., & Gleisner R., & Akhtar, M., & Horn, E.G., & Lentz, M. (2003). Synthesis of Pulping Processes With Fiber Loading Methods for Lightweight Papers, USDA Forest Service Forest Products Laboratory.
- Knuutila, U.M., & Barnet, A.J. (1984). New potential from Opco Pulping Process. XXI EUCEPA International Conference 1984, Torremolinos, Spain, pp. 161-170.
- Koç, E. (2002). LİFLEVHA' da profilli yüzeylerin kaplanmasında bazı faktörlerin görünüm özelliklerine etkisi
- Lee Sunggyu, (2006). Encyclopedia of chemical processing, Taylor and Francis.
- Li X., & Cai Z., & Horn, E., & Winandy, E. (2011a). Oxalic acid pretreatment of rice straw particles and loblolly pine chips: Release of hemicellulosic carbohydrates, Biorefinery–Fiberboard.
- Li X., & Cai Z., & Horn, E., & Winandy, J.E. (2011b). Effect of Oxalic acid pretreatment of wood chips on manufacturing medium-density fiberboard. *Holzforschung*, vol 65, 737-741.
- Li X., & Wu, Y., & Cai, Z., & Winandy, J.E., (2013). Primary properties of LİFLEVHA using thermomechanical pul made from oxalic acid pretreated rice straw particles. *Industrial Crops and Products*, 41, 414-418.
- Martinez (2010). Low Consistency Refining of Oxalic Acid Pretreated Wood Shavings November/December. 2010 Pulp & Paper Canada A.W., Rudie. (2011). Value Prior To Pulping, Forest Products, Tappi Peers. 5 October 2011.
- Nelsson, E. (2011). Reduction of Refining Energy during Mechanical Pulping – Using Pressurised Chip Compression and Sulphite Pre-treatment. Licentiate Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Orman Genel Müdürlüğü, (2012). Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Yayın No.:85, Envanter serisi No.: 12
- Özdemir, H. (2004). Anadolu Göknaar Türleri (*Abies spp.*) Odunlarının Kimyasal Karakterizasyonu, Yüksek Lisans tezi.

- Panshin & De Zeeuw (1970). Structure, Identification, Uses, and Properties of the Commercial Woods of the United States and Canada. 0852-1697.
- Peng, F., & Simonson, R., & Westermark, U. (1992). Cell wall sulfur distribution in chemithermomechanical pulping of spruce. Nord. Pulp Pap. Res. J. 6: 140–143
- Poncsak, S., & Kocaefe, D., & Bouazara, M., & Pichette, A. (2006). Effect of Temperature Treatment on the Mechanical Properties of *Betula papyrifera* Wood Science and Technology-668.
- Rafsanjani Ahmad, Michael Stiefel, Konstantins Jefimovs, Rajmund Mokso, Dominique Derome and Jan Carmeliet, Hygroscopic swelling and shrinkage of latewood cell wall micropillars reveal ultrastructural anisotropy
- Rowell (1983). Chemical Modification of Wood December, 1983 Vol. 6 No.12.
- Rudie A., & Reiner, R., & Sutherland, N., & Kenealy, W. (2007). Acid Prehydrolysis of Wood. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory Kang T. , Soong G., Chang X.F. , Beatson R. , Olsan J.A. ve D.M.
- Salmen, L. (1995). Influence of ionic groups and their counterions on the softening properties of wood materials, J. Pulp Paper Sci. 21(9), J310-J315. Sjöström, E. (1993). Wood Chemistry. Fundamentals and Applications, 2nd edition, Academic Press, San Diego, CA, USA, 293 p.
- Selik, M. (1963). Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.)' in Botanik Özellikleri Üzerinde Araştırmalar ve Bunların Halepçımı (*Pinus halepensis* Mill.) Vasıfları ile Mukayesesi. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları No:353, 36s, Ankara.
- Shimizu, K. (2001). Chemistry of hemicelluloses; in: Wood and Cellulosic Chemistry. 2nd edition, Eds. D.N.-S. Hon, N. Shiraishi, Marcel Dekker Inc., New York, USA, pp. 177-214.
- Sundholm, J. (1993). Can we reduce energy consumption in mechanical pulping? 18th Int. Mech. Pulp. Conf., oslo, Norway, June 15-17, PTF, Oslo, Norway, pp. 133-142.
- Sunggyu (2006). Encyclopedia of Chemical Processing Volume I-V
- Şahin, H.T, & Arslan, M.B. (2007) Lif levhalar ve Genel Özellikleri, Laminart, Nisan-Mayıs 2007, Sayı 49, 158-162 (2007)
- Şahin, H.T, & Arslan, M.B. (2007) Kağıt Üretiminde Yeni Teknolojilerin Uygulanabilirliği, Biyolojik Delignifikasyon, 15. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi, Antalya
- Şefik, Y. (1965). Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları. Ormancılık Enstitüsü Yayınları Teknik Bülten Dizisi No 219, Ankara.

Uçar, G. (1980). Odun Kimyası Ders Notları, Basılmamış, Sayı:77

Westermarck, U., & Samuelsson, B., & Simonson, R., & Pihl, R., & (1987). Investigation of a selective sulfonation of wood chips. Part 5. Thermomechanical pulping with low addition of sulfite. Nord. Pulp Paper Res. J. 2: 146–151

Winandy, J.E., Stark, N.M., Horn, E. (2008). Wood-plastic composites using thermomechanical pulp made from oxalic acid pretreated red pine chip. The 7th global WPC and natural fiber composites congress and exhibition, Kassel, Germany.

Wong, E.D., & Zhang, M., & Wang, Q., & Kawai, S. (1999). Foemation of the density profile and its effects onthe properties of particleboard. Word Sci. Technol. 33, 327-340

URL-1 (2014). <http://eski.dkm.org.tr/anadolu-caprazi/anadolu-caprazi-nedir.php>, 23.06.2014

URL-2 (2018). <http://www.mingyangmp.com/biomass-briquette-machine/drum-wood-chipper.html> 16.04.2018

URL-3 (2018). <http://www.enerjiatlasi.com/elektrik-tuketimi/>

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan BAŞARIR  
Doğum Yeri ve Yılı : Üsküdar / 23.11.1978  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : gokhan.basarir@camsan.com.tr



### Eğitim Durumu

Lise : Tuzla E.M.L.  
Lisans : A.İ.B.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği  
Yüksek Lisans : Kastamonu Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği

### Mesleki Deneyim

İş Yeri : Divapan Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. (2000-2003)  
İş Yeri : Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. (2003-2016)  
İş Yeri : Çamsan Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. (2016- Halen)

Çamsan Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. Hendek 2. OSB üretim tesislerinde Emprenye-Kaplama-Parke Üretim Müdürü olarak aktif çalışma hayatıma devam etmekteyim.